المركز القومى للترجمة

السفر عبر الزمن فى كون أينشتاين

إمكانية السفر عبر الزمن فيزيائيا

تأليف
ج. ريتشارد جوت

ترجمة وتقديم
عاطف يوسف محمود

مراجعة
عزت عامر

1396

السفر عبر الزمن
فى كون أينشتاين

(إمكانية السفر عبر الزمن فيزيائيا)

المركز القومى للترجمة
إشراف : جابر عصفور

- العدد: 1396
- السفر عبر الزمان فى كون أينشتاين (إمكانية السفر عبر الزمن فيزيائيا)
- ج. ريتشارد جوت
- عاطف يوسف محمود
- عزت عامر
- الطبعة الأولى 2009

هذه ترجمة كتاب :

Time Travel in Einstein's Universe
The Physical Possibilities of Travel Through Time

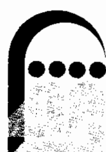
by: j. Richard Gott

شارع الجبلاية بالأوبرا - الجزيرة - القاهرة . ت: ٢٧٣٥٤٥٢٤ - ٢٧٣٥٤٥٢٦ فاكس: ٢٧٣٥٤٥٥٤
El-Gabalaya St., Opera House, El-Gezira, Cairo.
e.mail:egyptcouncil@yahoo.com Tel.: 27354524 - 27354526 Fax: 27354554

السفر عبر الزمن فى كون أينشتاين

إمكانية السفر عبر الزمن فيزيائيا

تـــألـــيـــف : ج. ريتــشــارد جــوت
ترجمة وتقديم : عاطف يوسف محمود
مــراجـــعـــة : عـــزت عــــامــــر



2009

بطاقة الفهرسة
إعداد الهيئة العامة لدار الكتب والوثائق القومية
إدارة الشئون الفنية

جوت، ج . ريتشارد
السفر عبر الزمن فى كون أينشتاين (إمكانية السفر عبر الزمن فيزيائيا)
تأليف : ج. ريتشارد جوت ؛ ترجمة وتقديم : عاطف يوسف محمود ،
مراجعة : عزت عامر .
ط ١ - القاهرة - المركز القومى للترجمة ، ٢٠٠٩
٣٢٨ ص ؛ ٢٤ سم
١- التخيل الإبداعى
(أ) محمود ، عاطف يوسف (مترجم ومقدم)
(ب) عامر، عزت (مراجع)
(جـ) العنوان ١٥٣,٣٥

رقم الإيداع ٢٠٠٩/١٤٩٧٠
الترقيم الدولى I.S.B.N. 978 - 977- 479 - 494 - 1
طبع بالهيئة العامة لشئون المطابع الأميرية

المحتويات

مقدمة المترجم

حقا .. لم تستأثر فكرة من أفكار الخيال العلمى بالخيال البشرى قط ، بقدر ما فعلت فكرة السفر عبر الزمان. ومن منا لم يحلم بزيارة الماضى والتشوق إلى الاطلاع على المستقبل؟ فإذا كانت هذه الفكرة تنطوى على تناقضات ظاهرة تحمل على رفضها للوهلة الأولى جملة وتفصيلا ، فإنها غدت - وفقا لتصور أينشتاين عن الكون - إمكانية حقة.

وفيم العجب .. والإنجازات الفريدة التى طالما اعتبرت فى عداد المستحيلات يوما ما - قد تحققت على أرض الواقع! بل إننا لننظر إليها اليوم كحقائق مسلم بها. ألم يكن التحليق فى الفضاء - فضلا عن الوصول إلى القمر حلمًا أسطوريا وخيالا جامحا! ألم يقد هذا الخيال الجامح إلى فتوح علمية مشهودة نحيا فى ظلها اليوم! وعلى ذلك فإن مؤلف الكتاب ينقل فكرة السفر عبر الزمان - مدعما وجهة نظره بالأسانيد العلمية - من أرض الخيال العلمى إلى حيز الإمكانية العملية فى ظروف فيزيائية مواتية ، فيجوس بنا خلال عالم مثير من الموضوعات التى حيرت - وما تزال - ألباب الفلاسفة والمفكرين والعلماء ... أصل الكون ونشأته وعمره ، وماذا عسانا نجد إذا امتدت أرصادنا الفلكية إلى أبعد مما تصل إليه الآن ، هل يمكن علميا التنبؤ بالمستقبل؟ هل بوسع الإنسان - ولو بعد حين - أن يسبق الضوء؟ هل يبطئ الزمان حقا للمتحرك بسرعات خارقة ... تلك الظاهرة التى دلل عليها أينشتاين بتجاربه الفكرية ، وأثبتتها قياسات متناهية فى دقتها؟ هل هناك أبعاد مكانية غير الأبعاد الثلاثة التى نعهدها! بل هل هناك بعد زمانى ثان!

هل يتمدد الكون حقا وتتباعد مجراته؟ وإلى متى سيدوم ذلك؟! وما موقع أمنا الأرض منه؟

هذه الأسئلة وعشرات غيرها يطرحها المؤلف فى كتابه ، متنقلا بقارئه من عالم الجسيمات دون الذرية وظواهره الخارقة إلى عالم السماوات الرحبة التى لا تحدها حدود ، مازجا - فى رهافة بالغة - موضوعات الحياة اليومية المعتادة بالمعادلات الرياضية الصارمة ، ومتسائلا فى خاتمة المطاف: إلام ستؤول سلالة البشر؟! أليس فى وسع الإنسان بكل ما أوتى من قدرة على التفكير والإبداع أن يسخر اكتشافاته وإنجازاته فى سبيل مستقبل أفضل ، أم إنه يرتكب من الأخطاء ما قد يفضى به فى النهاية إلى الاندثار بما تحويه تقنيته المتطورة من مخاطر؟! وهل تقترف البشرية خطيئة كبرى حقا بإهمالها لبرامج غزو الفضاء؟!

إن هذه الأمور تبدو - من فرط غرابتها - صادمة لمسلماتنا التقليدية ولكن ، ومهما بدا الأمر لنا غير مألوف ، مستعصيا على الفهم فما أحوجنا وعلى وجه الخصوص نحن أبناء الشعوب النامية - إلى أن نفتح أكثر وأكثر من هذه النوافذ على العلم الحديث ومنجزاته لنلحق بركب الحضارة المغذ فى سيره ، إذ لم يتبق لنا من الوقت إلا أقل القليل.

إهـــــداء

إلى والدتي ووالدي ، زوجتي وابنتي

ماضيّ ، وحاضري ، ومستقبلي

المؤلف

شكر

أولا وقبل كل شىء أشكر زوجتى الحبيبة "لوسى"، توأم روحى بحق. وحيث إن "لوسى" واحدة من أكثر الناس لماحية فيمن حولى فى برينستون فإننى آخذ بكل جدية بنصيحتها. فقد أضافت إلى هذا الكتاب مهارات حرفية لها قدرها فى التحرير والكتابة عاونتنى على إخراج نسخة منقحة من مخطوط الكتاب. وفيما يختص بابنتى "إليزابيث" فما أظن أن امرأ يأمل أن يحظى بابنة أفضل. ففضلا عن إضاءتها لحياتينا ، كم اقتطعت من وقتها فى مسيرتها الدراسية بالمدرسة العالية لدراسة النجوم لتساعدنى بدورها ، فى بعض الأحايين بتصميم برامج للحاسب الآلى، ولكن فى الأغلب الأعم بمعاونتى فى العثور على الوسائل البصرية الملائمة لشرح المفاهيم الفيزيائية، فهى من عثرت على مكوك الفضاء الطريف (المكتنز) الذى استخدمته لتوضيح كيف يمكن تحريك وترين كونيين فى شكل دائرى (ظهرت صورته فى التايم (Time)، وهى من ابتكرت رائد الفضاء الدقيق المرفرف بالعلم لأسقطه فى قمع كى أصور خواص الثقوب السوداء لبرنامج (ماكنيل – ليهرر نيوزأور) [(١)].

كما أتقدم بشكرى لوالدتى ووالدى مارجورى .ك. جوت والدكتور جون ريتشارد جوت الأصغر لدعمهما لى عبر السنين، بما فى ذلك طريقة أمى فى اصطحابى وهى مفعمة بالبهجة إلى ما لا عد له من المؤتمرات والاجتماعات والمعارض الفلكية خلال

---

(١) برنامج تليفزيونى يقدم الأخبار المسائية أسبوعيا بالولايات المتحدة. (المترجم)

سنوات دراستى بالمدرسة العليا. وشكرى الخاص إلى "لورا فان دام" المحررة الرائعة فى هافتون ميفلين ، والتى أمدتنى بفكرة تأليف كتاب عن السفر عبر الزمن. إن حماسها وحكمها القاطع والراجح وموهبتها الغزيرة فى التحرير جعلت العمل معها متعة حقة. وأشكر بالمثل ليزدوفال ، وسوزانا بروفام ، وليزا ديركس لكريم معاونتهن خلال إجراءات إخراج هذا الكتاب.

ويرجع الفضل فى تحويل رسومى التخطيطية إلى صور جميلة إلى جوآن بوسكارينو ولى – تشين – لى على التوالى ، فلهما شكرى. وقد نُفذت بعض الرسوم البيانية ببرامج الحاسب الآلى: **Mathematica program, Claris Woks** أو برنامج **Design it! 3D.**

ولقد قرأ كل من تشارلز ألن (رئيس الرابطة الفلكية)، ونيل دى جراس تيسون (مدير قبة هايدن السماوية) المخطوط بأكمله. وكانت مراجعتهما جد جوهرية ، وثقت من عرى صداقاتنا عبر السنين ، كما قرأ "جوناثان سيمون" و"لى – تشين – لى" بعض الأبواب المنتقاة وقدموا تعليقات نافعة، كما أفدت بالمثل من تعليقات "جيريمى جودمان"، سوكيتو بهافسار، ديبورا فريدمان، جيم جن، فرانك سومرز، دوجلاس هيجى ، إد جنكينز، ميكايل هارت ، ماثيو هيدريك ، جيم بيبلز، بهارات راترا ، ومارتن ريز.

وأنا ممتن لكل أساتذتى (ابتداء من مدرس الرياضيات بمدرستى العليا روث باردون، وحتى المشرف على رسالتى ليمان سبيتزر) ولكل زملائى ورفقائى بما فى ذلك طلبتى. وأتقدم بشكر خاص إلى "لى – تشين – لى" الذى كانت مساهمته فى بحثنا الذى وصفته بالباب الرابع هى محور البحث ولبابه. وشكل ٢٧ بهذا الكتاب مأخوذ من بحثنا المنشور عام ١٩٩٨ فى مجلة فيزيكال ريفيو تحت عنوان "هل يمكن أن يخلق الكون نفسه؟" كما أود أن أشكر جورج جاموف، تشارلز ميسنر، كيب ثورن وجون هويلر الذين مثلت كتبهم لى منبعا ثريا للإلهام، وكذلك هف داونز على جلسات العشاء الحافلة بالمجادلات حول الكونيات، وكارل ساجان (وكيب ثورن مرة ثانية) اللذين أعتز

بتقديرهما لعملى أيما اعتزاز. والشكر أيضا لدوروثى شريفر ولكل من تعرفت إليه فى منظمة Science Service[١]، ولوالدة زوجتى فيرجينيا بولارد والدكتورين ويليام بارتون وألكسندر فوكاسين. ويطيب لى أيضا أن أنوه بالكتاب العلميين الذين حرروا مقالات رائعة عن عملى: تيموثى فيريس، ميكايل ليمونيك، شارون بيجلى ، جيمس جلايك، مالكولم براون ، ماركوس شون ، إيلى بوتنجر، كيتا ماكفرسون ، جيروفون بوهم، جول آخنباخ ، مارسيا بارتوسياك، ميتشيل والدروب وراشيل سيلفرمان. فبفضل مثل هؤلاء الكتاب العلميين ، تمتد الآفاق الرحبة للسعى العلمى للجميع. وكم أتمنى أن يسهم كتابى هذا ولو على مستوى صغير بإضافة متواضعة.

وفى الختام أزجى التحية لألبرت أينشتاين الذى مازالت أفكاره تتحدانا وتستنفرنا حتى يومنا هذا.

(١) منظمة تعمل على تطوير العلم بتقديم برامج تعليمية وإصدارات منها مجلة Science Magazine الأسبوعية ومقرها واشنطن وتأسست عام ١٩٢١ - تغير اسمها مؤخرا إلى Society for Science & the Public (المترجم).

مقـــدمة المؤلف

يعتقد أطفال الجيران أن لدى آلة زمان فى مرآبى. وحتى زملائى فى العمل يتصرفون معى فى بعض الأحايين كما لو كانت لدى واحدة. وقد أرسل لى الفيزيائى الفلكى تودلوير Tod Lauer ذات مرة رسالة رسمية يدعونى فيها لزيارة مرصد "كيت بيك" الوطنى والحديث عن "السفر عبر الزمن". لقد أرسل لى الدعوة بعد أن كنت قد أدليت بحديثى فعلا قبل ستة أشهر. وأدركت من ذلك أنه طالما أننى كنت خبيرا فى السفر عبر الزمن فينبغى بلا جدال ألا تكون لدى أدنى مشكلة فى الرجوع إلى الماضى وإبرازه ثانية. وفى مناسبة أخرى ، فى مؤتمر للعلوم الكونية بكاليفورنيا تصادف أن ارتديت سترة رياضية ذات لون فيروزى ألفيته يناسب البيئة المحيطة بكاليفورنيا ، وإذا ببوب كيرشنر Bob Kirshner أستاذ كرسى قسم الفلك بهارفارد يتجه نحوى قائلا: "ريتشارد .. هل هذا معطف المستقبل؟ لابد وأنك رحلت إلى المستقبل وعدت به من هناك ، فهذا اللون لم يُبتدع بعد". منذ ذلك الوقت ، صرت أرتدى ذات المعطف كلما ألقيت حديثا عن "السفر عبر الزمن".

وبلا شك فإن السفر عبر الزمان من أفضل موضوعات الفيزياء تشويقا ومتعة وخفة ظل، على أن له جانبه الجاد كذلك. لقد تلقيت مهاتفات من أناس يسألون عن أحدث التطورات فى مسألة السفر عبر الزمن، إذ إنهم راغبون فى العودة إلى الماضى ليستنقذوا أحباء لهم قضوا نحبهم فى ظروف مأساوية ، وإنى لأتعامل مع هذه المهاتفات بمنتهى الجدية ، وكان من دواعى لتأليف هذا الكتاب هو أن أجيب على هذه الأسئلة. إن أحد الأسباب التى تجعل الناس يفتتنون بالسفر عبر الزمن هو تشوقنا لأن نضع ذلك موضع التنفيذ.

ليس الفيزيائيون ممن يبحثون فى السفر عبر الزمن – على شاكلتى – معنيين باستصدار براءة اختراع لآلة الزمن ، ولكننا نبحث فيما إذا كان تشييدها فى حيز الإمكان من ناحية المبدأ، باتباع قوانين الفيزياء. يالها من لعبة مقامرة هائلة يلعبها ألمع الناس عقولا فى العالم! لقد وضح أينشتاين إمكانية السفر عبر الزمان إلى المستقبل ، وشرع فى مناقشة ذلك الأمر فعلا، كما شغف كثيرون مثل كورت جوديل **Kurt Godel**، كيب ثورن **Kip Thorne**، وستيفن هوكنج **Stephen Hawking** بمسألة ما إذا كان السفر عبر الزمن إلى الماضى ممكنا. سوف تعطى الإجابة على هذا السؤال منظورا جديدا لماهية الكون، ولعلها تزودنا ببعض المفاتيح نحو تفسير نشأته الأولى.

إن هذا الكتاب لهو رواية شخصية ، وليس تأريخا لعلم. فتخيلنى مرشدا لك يصحبك إلى قمة جبل إفرست. ربما شكل التسلق تحديا صعبا أحيانا، وربما كان سهلا فى أحيان أخرى ، على أننى أعدك بأن نصعد سالكين أيسر سبيل ممكن. إنه طريق من الأفكار أخبرها جيدا ، فقد تركت أنا شخصيا فيها بعض علامات وآثار. وعلى طول الطريق سيعرض لنا عمل الكثير من زملائى ذكرت العديد منهم لأعطيك فكرة كافية عن الرواد الآخرين الذين مهدوا تلك البقاع. وقد أكدت على بعض هذه المساهمات فى حين اكتفيت بالإشارة الموجزة إلى غيرها طبقا للتسلسل التاريخى والأدوار التى تلعبها فى حكاية قصتى. وإنى لأعتذر مقدما لكل هؤلاء الذين لم أذكر إنجازاتهم ، رغم أنها لا تقل أهمية، ولكنى سلكت – إلى قمة الجبل – سبيلا أخرى.

سنبدأ رحلتنا من قاعدة انطلاقنا: حلم السفر عبر المستقبل ذاته، والخيال العلمى للكاتب هـ.ج.ويلز **H.G. Wells** الذى كثيرا ما سنلتقى به.

الباب الأول

الحلم بالسفر عبر الزمن

إذا كان باستطاعة الإنسان أن يصعد إلى أعلى ضد الجاذبية في منطاد، فلماذا لا يأمل – في خاتمة المطاف – أن يكون باستطاعته أن يبطئ ، أو يعجل من إبحاره عبر البعد الزمنى، بل وحتى أن يستدير على عقبيه ويسافر فى الاتجاه العكسى!

(هـ.ج. ويلز، آلة الزمان ، ١٨٩٥)

ماذا يمكنك أن تصنع لو أن لديك آلة زمان:

لم تستأثر فكرة من أفكار الخيال العلمى بالخيال البشرى قط ، قدر ما فعلت فكرة السفر عبر الزمان. ترى .. ماذا عساك تصنع لو أن لديك آلة للزمان؟ ربما سافرت إلى المستقبل وقضيت إجازتك فى القرن الثالث والعشرين. لعلك تعود حاملا معك علاجا لداء السرطان.

وبالمثل كذلك ربما رجعت القهقرى فى الزمن لتنقذ شخصا أثيراً لديك من مصير مأساوى، ربما تمكنت من قتل هتلر ومنع نشوب الحرب العالمية الثانية، أو قطعت تذكرة سفرة بحرية على متن سفينة "تايتانيك" لتحذر قبطانها من جبل الجليد. ولكن ماذا لو أن القبطان ضرب بتحذيرك عرض الحائط مثلما فعل بكل التحذيرات الأخرى التى

تلقاها بشأن جبال الجليد ، مما أدى إلى غرق الباخرة العظيمة فى النهاية! وبعبارة أخرى .. هل من شأن السفر عبر الزمن أن يبدل الماضى؟! إن مفهوم السفر عبر الزمن إلى الماضى ينطوى على تناقضات ظاهرة. فماذا لو حدث فى رحلة إلى الماضى أن قتل شخص ما – عرضا – جدته قبل أن تنجب أمه؟

وحتى لو كان تغيير الماضى مستحيلا، فستظل فكرة الرحيل إليه مثيرة ومشوقة ، حتى لو لم تتبدل مجريات التاريخ عن مسارها الذى اتخذته – فيما نعلم – إذ يمكنك أن تسهم فى تشكيل ذلك التاريخ.

على سبيل المثال ربما أمكنك بالعودة للماضى معاونة الحلفاء كى يربحوا معركة بالج[1] فى الحرب العالمية الثانية، فإذا استهوى الناس أن يستعيدوا تمثيل معارك الحرب الأهلية (الأمريكية) .. فماذا لو أنه كان بالإمكان المشاركة الحقة فيها؟! إن اختيارك لمعركة ربحها الجانب الذى تنتمى إليه قد يتيح لك إثارة المشاركة فى معايشة تلك الأحداث ، بمثل ما يتملكك الشعور بالأمان لمعرفتك المسبقة بالنتيجة. وفى الحقيقة، ربما تتحول دفة المعركة – فى آخر الأمر بسبب زوار قادمين من المستقبل.

حقا، طالما اتهم الناس الذين سبقوا عصرهم – مثل جول فيرن وليوناردو دافنشى – طالما اتهموا فى كثير من الأحايين بأنهم كالمسافرين عبر الزمن.

إذا اخترت أن تشرع فى الرحيل عبر الزمن، فإنك تستطيع أن تضع خط سير مذهلا لرحلتك تلك ربما أمكنك أن تلاقى شخوصا تاريخيين مثل بوذا ، أو محمد أو موسى. ربما تيسر لك أن ترى كيف كانت "كليوباترا" تبدو حقا، أو أن تحضر أول

---

(١) معركة بالج Bulge هى آخر معارك ألمانيا النازية فى الحرب العالمية الثانية فى شتاء ١٩٤٤-١٩٤٥، وتمثلت فى هجوم مضاد فى محاولة أخيرة لهتلر أن يقسم جيوش الحلفاء إلى قسمين فى أثناء هجومهم على ألمانيا. (المترجم)

عرض شكسبيرى لهاملت. ربما تيسر لك أن تكمن فى التلة المعشوشبة[1] بمدينة "دالاس" لتتيقن بذاتك ما إذا كان "لى هارفى أوزوالد" هو وحده مغتال الرئيس الأمريكى. ربما أمكنك أن تشهد موعظة عيسى على الجبل فضلا عن أن تلتقط لها فيلما. يمكن أن تستمتع بنزهة مسائية خلال حدائق بابل المعلقة وهكذا فإن هناك ما لا حدود له من الإمكانات.

إننا لنبدو أحرارا فى انتقالنا مكانيا حسب ما نشاء، إلا أننا - فيما يختص بالزمن - نصبح محض مبحرين فوق (طوف) ينساب فى مجرى تيار هائل .. مدفوعين - على عجل - صوب المستقبل .. ثانية بثانية. يطيب للمرء فى بعض الأحيان لو أمكنه التجديف إلى الأمام ليستكشف ضفاف المستقبل، أو ربما الاستدارة والمضى فى عكس اتجاه التيار ليزور الماضى.

إن الأمل فى أن تغدو هذه الحرية فى متناول أيدينا إنما يدعمها ما نلاحظه من أن الإنجازات الفذة الفريدة التى كان يظن استحالة تحقيقها - سابقا - قد تحققت بالفعل، بل إننا ننظر إليها اليوم كحقائق مسلم بها. فعندما كتب "ويلز"[2] آلة الزمان عام ١٨٩٥، كان الكثير من الناس يعتقد باستحالة طيران الآلات الأثقل من الهواء. وفى نهاية الأمر برهن الأخوان رايت على خطأ هذا التشكك. لقد لهج الناس باستحالة كسرنا لحاجز الصوت ، غير أن "تشاك ييجر" برهن - فى النهاية - على أن ما يبدو مستحيلا، هو فى واقع الحال فى حيز الإمكان. لقد كان الطيران إلى القمر

---

(١) يشير المؤلف هنا إلى الإبهام الذى شاب اغتيال الرئيس الأمريكى جون ف. كينيدى فى دالاس بتكساس فى نوفمبر ١٩٦٣، وتقع التلة المعشوشبة المشار إليها فى طريق موكب كينيدى ويرجح أن مرتكب الاغتيال كان كامنا فيها. (المترجم).

(٢) هربرت جورج ويلز: كاتب روائى واجتماعى وتاريخى انجليزى (١٨٦٦-١٩٤٦) ، تميز برواياته العلمية المدهشة وأولها آلة الزمان (١٨٩٥) ، وترك أثرا فى الحياة والفكر السياسى والاجتماعى فى العصر الحديث. (المترجم)

يوما فى عداد عالم الفانتازيا والخيالات الوهمية الجامحة، إلى أن أنجزه برنامج أبوللو. ترى .. هل يكون للسفر عبر الزمن نفس الشأن؟!

لقد قفز موضوع السفر عبر الزمن من صفحات كتب الخيال العلمى .. إلى صفحات مجلات الفيزياء، بما يستكشف الفيزيائيون الآن من سماح نواميس الفيزياء بذلك، بل وما إذا كان فى ذلك مفتاح للغز نشأة الكون. لقد كان السفر عبر الزمن فى كون إسحاق نيوتن غير قابل للتصور، بيد أنه غدا - فى كون أينشتاين - إمكانية حقه ، وأصبح السفر عبر الزمن إلى المستقبل فعلا فى عداد المتاح. وبالمثل يبحث الفيزيائيون الآن السفر عبر الزمن إلى الماضى. ولكى نضع ما يدرسه العلماء فى الوقت الراهن موضع التقدير، فإن الخطوة الأولى الجديرة بالاعتبار هى أن نرتاد أفكار السفر عبر الزمن الأساسية والتى وردت فى قصص الخيال العلمى، حيث تقدمت وتطورت كثير من الأفكار فى هذه الحلبة.

آلة الزمان - الزمن باعتباره بعدا رابعا:

لقد برزت فكرة السفر عبر الزمن خلال قصة ويلز المدهشة، وكان أبرز ما فيها معالجته للزمن كبعد رابع ، تلك المعالجة التى تكهنت باستخدام أينشتاين لذات المفهوم بعد ذلك بعشر سنوات.

وتبدأ الرواية عندما يدعو "المسافر عبر الزمان" أصدقاءه كى يختبروا اختراعه الجديد "آلة الزمان"، ويشرح لهم فكرته:

"أنتم تعلمون - بطبيعة الحال - أن الخط بمفهوم الرياضيات، لا سمك له ، وليس له وجود حقيقى، كما أنه لا وجود للمستوى بنفس المفهوم ، وإنما هذه الأشياء محض تجريدات.

"أجل .. حقا" قال العالم النفسى.

"كذلك، فإن مجرد وجود طول وعرض وارتفاع لا يكفل لمكعب ما وجودا حقيقيا".

"كلا .. إنى هنا أعترض "قال فيلبى" إن كل الأجسام المادية لها وجود .. كل الأشياء الحقيقية".

"بل انتظر للحظة .. هل يمكن للمكعب أن يتواجد لحظيا (فى لحظة بعينها)؟

"لا يمكننى متابعتك" قال فيلبى.

"هل يمكن لمكعب – لا يستديم وجوده لأى وقت على الإطلاق – أن يكون له وجود حقيقى؟"

غرق فيلبى فى تأملاته، بينما استطرد المسافر عبر الزمان: "من الواضح أن أى جسم – بالمعنى الحقيقى – ينبغى أن يمتد فى أربعة أبعاد ، ينبغى أن يكون له طول وعرض وسمك، وامتداد زمنى. هناك – فى الحقيقة – أربعة أبعاد: ثلاثة مكانية، وبعد رابع .. هو الزمان. هناك ميل إلى وضع تمييز غير حقيقى بين الثلاثة الأول وبين الأخير، وذلك لأن وعينا يتحرك عبر هذا البعد الأخير بصورة متقطعة ... من بداية حياتنا حتى نهايتها.

حينئذ ، يعرض المسافر عبر الزمان على أصدقائه نموذجا صغيرا لابتكاره: وهو هيكل (إطار) معدنى به أجزاء من العاج والكوارتز، وله ذراع تمكن من دفعه صوب المستقبل، وأخرى يمكنها عكس الاتجاه. إنه يساعد أحد أصدقائه كى يدفع ذراع المستقبل، فيختفى النموذج فى التو. ترى .. أين ذهب؟ إنه لم يتحرك من مكانه قط، ولكنه ببساطة ذهب إلى زمان آخر .. هكذا يشرح لهم المسافر عبر الزمان ، ولا يستطيع أصدقاؤه أن يقرروا .. أيصدقونه أم لا.

بعد ذلك يصحب المسافر عبر الزمان أصدقاءه إلى مختبره المنزلى ليطلعهم على النموذج الكامل فى أبعاده الحقيقية. وبعد أسبوع يتم صنع آلته للزمن ويصعد على متنها، مبتدئا رحلته المشهودة صوب المستقبل.

إنه فى البداية يضغط ذراع المستقبل – برفق – إلى الأمام، وعندئذ يضغط ذراع الإيقاف ، شاخصا إلى معمله .. إن كل شيء كما هو. عندئذ يراقب ساعته: "لقد أخرت الساعة فيما يبدو .. منذ لحظة مضت، كانت قد توقفت بعد الساعة العاشرة بدقيقة أو نحو ذلك ، فيما هى الآن فى النصف بعد الثالثة". ويدفع الذراع مجددا للأمام ، وبينما يلمح مدبرة منزله وهى تتقافز وتتنقل عبر الغرفة فى سرعة خاطفة ، يدفع الذراع إلى الأمام إلى مدى أبعد. "لقد حل الليل فى لمح البصر ، وفى خلال لحظة أخرى جاء الغد".

وكلما زدت من سرعتى تتابع الليل والنهار .. وكأنه جناح أسود خفاق، وفى الوقت الراهن وفيما أنا ماض فى زيادة سرعتى فإن نبضات الليل والنهار وتعاقبهما السريع تتحد كلها وتتداخل مشيعة جوا ذا لون رمادى مستديم. إنى أرى مبانى شاهقة تعلو فى خفوت ورهافة .. ثم تنقضى كأنها أحلام".

فى الختام ، يوقف المسافر عبر الزمان مركبته. إن عدادات آلته تشير إلى أنه قد وصل إلى عام ٨٠٢٧١٠ . ماذا عساه سيجد؟ لقد انقسمت السلالة البشرية إلى نوعين .. أحدهما بهيمى وضيع ، يعيش تحت سطح الأرض (المورلوك) ، فيما يعيش النوع الآخر ذو الطبيعة الطفولية الوديعة فوق أديمها (ويدعى الإلوى). وبين القاطنين فوق سطح الأرض يتعرف المسافر عبر الزمان إلى امرأة حسناء ، تدعى "وينا" فيتآلفان.

ويكتشف – لفرط رعبه – أن ساكنى الكهوف الانعزاليين يربون أبناء السلالة الوديعة ، ممن يحيون فوق الأرض، ويحصدونهم كما الماشية ليتغذوا عليهم. ومما يزيد الأمر سوءا، أن تتمكن سلالة (المورلوك) الأشرار من سرقة آلة زمانه ، وعندما يعثر عليها يقفز بداخلها، ولكى يفر من (المورلوك) يضع ذراع الآلة فى وضعها الأقصى للانطلاق للأمام. وفى الوقت الذى يحكم فيه السيطرة على آلته ، يكون قد انطلق إلى المستقبل القاصى ، حيث انقرضت الثدييات ولم يبق على وجه الأرض، إلا بعض الكائنات الشبيهة بسرطانات البحر القشرية، وبعض الفراشات. وإذ يجوس عبر ٣٠

مليـون سـنة من المسـتـقبل، يكتـشف شـمسـا حمـراء خـابيـة ، ونبـاتات خـشنة أشبـه بالحزازيات. لم يبق من معالم الحياة الحيوانية سوى كائن ذى مجسات ، له هيئة كرة القدم.

ويعود المسافر عبر الزمـان حينذاك إلى زمنه الحـاضـر وإلى أصدقـائه. وكبرهـان على جولته فى المستقبل يجلب معه بعضا من زهور كانت قد أهدته إياها الفتاة "وييـنا" .. زهور مـن نوع لم يـألفه أصدقـاؤه. وبعـد أن يحـادثهم يغادر المسـافر عبـر الزمـان على متن آلته ولا يعود أبدا.

ويغرق أحد أصدقائه فى التأمل عن مصيره: "ترى أين عساه ذهب! هل عاد إلى الحياة فى المستقبل؟ أم ارتد إلى عالم ما قبل التاريخ؟!".

لقد كان هـ.ج. ويلز فى كتابه ذا بصيرة نافذة استثنائية حينما عبر عن الزمان كبعد رابع. وفى المستقبل (عام ١٩٠٥) سيستعمل أينشتاين هذه الفكرة فى نظرته عن النسبيـة الخـاصـة والتى تصف كيف يخـتلف مـقيـاس الزمـان بالنسـبة لكل من الراصدين الثابت فى مكانه والمتحرك.

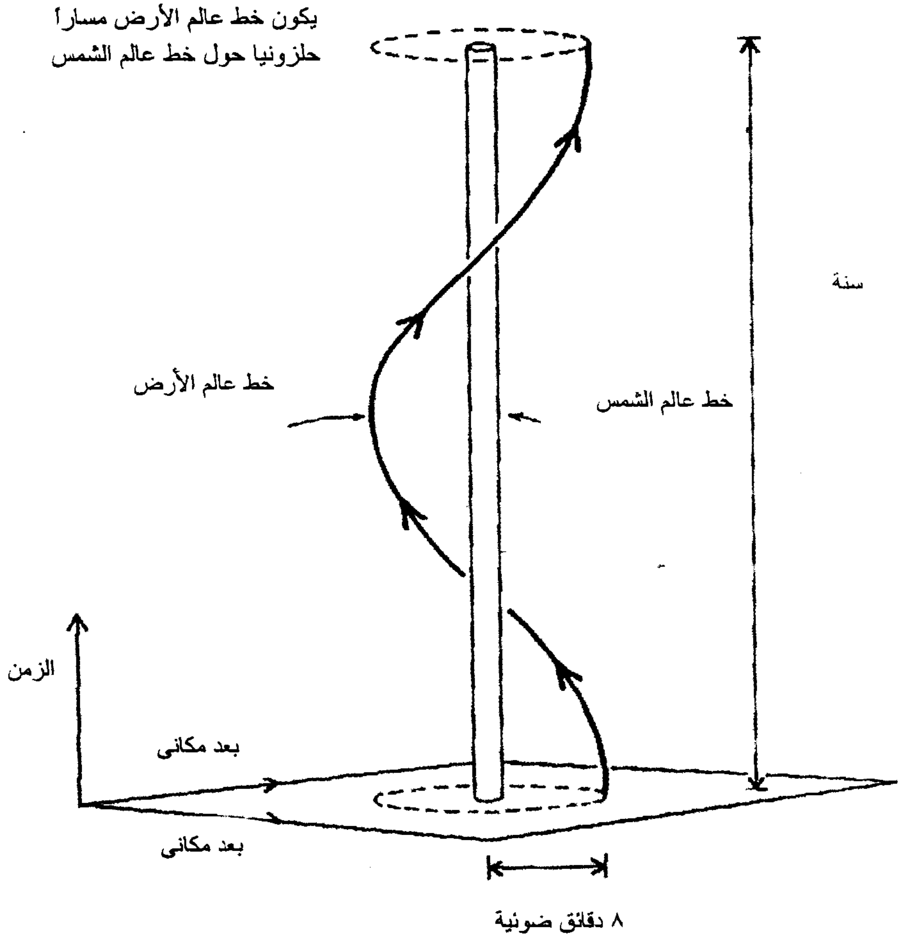
لقد وضح عمل أينشـتاين والذى أصلتـه وأكدته رياضـيات الأسـتاذ هيرمـان منكوفسكى Hermann Minkowski أن الزمـان يمكن مـعالجـتـه رياضـيـا كـبعـد رابع. وبهذا فإن كوننا رباعى الأبعاد. وبالمقارنة فإننا نقول إن سطح الأرض ثنائى الأبعاد، لأن كل نقطة على سطحـها يمكن توصـيـفهـا باثنين من الإحـداثيات. خط طول وخط عرض. أما الكون فإنه رباعى الأبعاد ، بحيث إن توصيف أى حدث به يستلزم أربعة إحداثيات.

وهذا المثال المقتبس من الفيزيائى الروسى جورج جاموف George Gamow يبين تلك النقطة بشكل أكثر وضوحا:

إذا رغبت فى دعوتك إلى حفل ما ، فعلى أن أزودك بأربعة إحداثيات. فقد أقول إن الحفل سيقام عند تقاطع الشـارع الثالث والأربعين والجادة الثـالثة ، فى الطابق

الحادى والخمسين ، عقب ليلة رأس السنة الجديدة. فالإحداثيات الثلاثة الأول (الشارع الثالث والأربعون ، الجادة الثالثة ، الطابق الحادى والخمسون) تصف الموقع المكانى ، ثم يتوجب على أن أحدد لك الزمن ، إن أول إحداثيين ينبئانك عن الموقع الذى تذهب إليه على سطح الأرض فيما يخبرك الإحداثى الثالث عن مقدار ارتفاعك عنها والرابع عن توقيت وصولك: أربعة إحداثيات ، أى أربعة أبعاد.

يمكننا أن نصور كوننا ذا الأبعاد الأربعة مستخدمين نموذجا ذا ثلاثة أبعاد، ويوضح الشكل رقم (١) نموذجا للنظام الشمسى ، حيث يمثل البعدان الأفقيان ، بعدين مكانيين فى الفضاء (وللتبسيط ، فقد تم التغاضى عن البعد الثالث) ، فى حين يمثل المستقيم العمودى البعد الزمنى ، فالاتجاه إلى أعلى يعنى المستقبل والاتجاه إلى أسفل يعنى إلى الماضى.



شكل (١) الكون ذو الأربعة أبعاد

اطلعت على هذا النموذج للمرة الأولى فى كتاب جورج جاموف الشائق "واحد .. اثنان .. ثلاثة .. ما لا نهاية" .. ذلك الكتاب الذى قرأته وعمرى اثنا عشر عاما. إن هذا الكتاب يغير مفاهيم المرء. فالكتب التقليدية تقدم لنا مجموعتنا الشمسية فى رسم مسطح ذى بعدين، فتصور الشمس فى شكل قرص مستدير ، والأرض فى شكل قرص آخر بالقرب من الأول، ويمثل مدار الأرض بخط دائرى منقط (متقطع). كل ذلك على ورقة مسطحة. إن هذا النموذج ذا البعدين إنما يعبر عن لحظة زمانية واحدة فقط، ولكن .. فلنفترض أن لدينا عرضا سينمائيا عن المجموعة الشمسية، يجسد لنا كيف تدور الأرض حول الشمس، إن كل كادر (لقطة) من الفيلم السينمائى هى صورة ذات بعدين للمجموعة الشمسية .. لقطة التقطت فى لحظة معينة، فإذا قطعنا هذا الفيلم السينمائى إلى كادرات منفصلة، وصففناها جميعا الواحد فوق الآخر، أمكننا استجلاء صورة واضحة عن الزمان والمكان معا (الزمكان)[1] إذا مضينا مع هذه الكادرات صعوداً، فإننا نشاهد الأحداث التى ستقع فيما بعد، وينبئنا ارتفاع الكادر العمودى (أى موقعه من العمود) عن الزمن.

وتظهر الشمس فى مركز كل لقطة كقرص أصفر لا يتحرك من موضعه. وبالمضى على طول ارتفاع محور الكادرات تتمثل الشمس فى صورة عمود أصفر ، يمتد من القاع إلى القمة ، موضحا تطور الشمس من الماضى إلى المستقبل. وفى كل كادر "تبدو الأرض كنقطة زرقاء صغيرة ، وصعودا مع الكادرات المتتالية تتحرك الأرض فى مدارها ، وهكذا فإن مدار الأرض المستمر هو خط حلزونى يلتف حول العمود الأصفر الأوسط. ويصل نصف قطر هذا المسار الحلزونى إلى نصف قطر دوران الأرض حول الشمس (٩٣ مليون ميل ، أو كما يطيب لنا – نحن الفلكيين – أن نقول، ٨ دقائق ضوئية). فالضوء لكى يجتاز هذه المسافة بسرعته التى تبلغ ١٨٦٠٠٠

(١) نحت لفظ الزمكان من كلمتى الزمان والمكان ليعبر عن المفهوم الذى يجمعهما معا، ويدمج الزمان كبعد رابع مع الأبعاد المكانية الثلاثة، وسيكثر استعماله فيما يلى من الكتاب (المترجم).

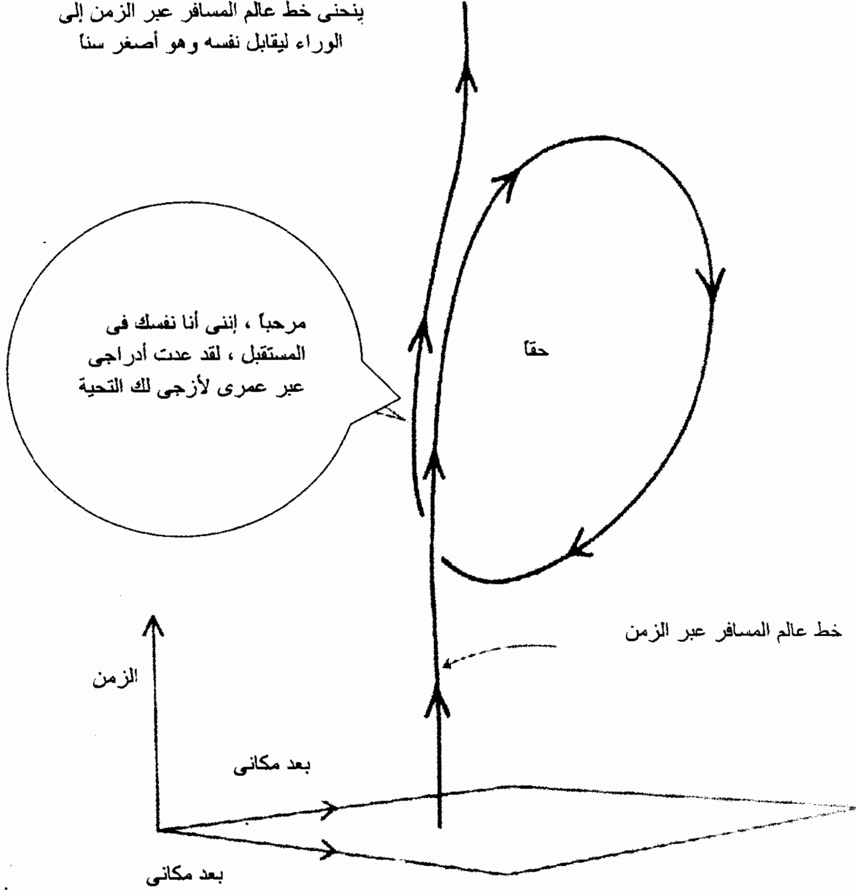
ميل / ثانية يحتاج إلى ٨ دقائق ، ولكى يتم المسار الحلزونى دورة كاملة فإن ذلك يستغرق بالطبع عاما كاملا (انظر شكل رقم ١) ، ويمثل هذا المسار الحلزونى (خط عالم الأرض **(World line5)**[١]، أى خط سيره فى عالمى الزمان والمكان (الزمكان). إذا ما فكرنا من وجهة نظر الأبعاد الأربعة ، فإننا نقول إن الأرض ليست مجرد كرة، وإنما هى فى الواقع مسار حلزونى .. شريط طويل من "الإسباجيتى" يلتف فى مسار حلزونى حول "خط عالم الشمس" مع سريان الزمن.

ومثلما قال المسافر عبر الزمان: إن لكل الأشياء الحقيقية أبعادا أربعة، الطول والعرض والارتفاع، والبعد الزمنى. فللأشياء الحقيقية امتدادها عبر الزمن. ربما كانت أبعاد جسم شخص ما هى ست أقدام طولا، وقدما واحدة سمكا، وقدمان عرضا وثمانين عاما كبعد زمنى. فللشخص "خط عالم" هو الآخر، يبدأ هذا الخط بميلاده، ويمتد ملتويا فى الأبعاد المكانية، وإلى الأمام فى بعده الزمنى، ناسجا فى امتداده كل أحداث حياته، منتهية بموته.

إن المسافر عبر الزمان الذى يزور الماضى هو مجرد شخص يلتف خط عالمه – بكيفية ما – إلى الخلف زمانيا ، بحيث يمكن حتى أن يتقاطع مع أثره السابق. هل يمكن لهذا المسافر عبر الزمان أن يصافح نفسه؟ ربما التقى الرجل المسن بنفسه وهو فى عمر أقل هاتفا: "مرحبا! إننى أنا هو أنت فى المستقبل ، لقد عدت أدراجى عبر زمن حياتى لألقى لك بالتحية" (انظر شكل ٢). سيرد الشاب الأصغر وهو مندهش: حقا؟ ثم يستأنف حياته، ويهرم ، ويرتد على عقبيه فى الزمن إلى نفس هذا الحدث حيث يمكنه أن يتعرف إلى نفسه وهو شاب. فيصافحه قائلا: "مرحبا .. إنما أنا هو أنت فى المستقبل. لقد عدت أدراجى عبر الزمن لأزجى لك التحية.

---

(١) سيتكرر مصطلح خط العالم World Line كثيرا فيما بعد ... ويقصد به المؤلف خط سير الشىء الذى يسجل تطوره فى عالمى المكان والزمان ، تمييزا له عن كلمة مسار أو مدار اللتين تختصان بالمكان فقط. وبصفة عامة فكلمة خط Line تدل على سير الأحداث ولا تختص بها نظرية معينة (المترجم).



شكل (٢) كيف يقابل المرء نسخة أصغر سنًا منه فى الماضى

عودة إلى المستقبل وأحجية الجدة

ولكن .. ماذا لو رفض المسافر عبر الزمن ذلك المتقدم في السن أن يلقى التحية لخلفه، وبدلا من ذلك فإنه يقتل (نفسه) عندما كان في مقتبل العمر؟ إن السفر عبر الزمن إلى الماضي يطرح هذه المفارقة. وعندما أجرى مقابلات تليفزيونية حول موضوع السفر عبر الزمن فإن أول سؤال يطرح على دائما هو: "ماذا لو أن شخصا عاد أدراجه إلى الماضي، وقتل جدته قبل أن تكون قد أنجبت أمه؟" والمشكلة واضحة .. إذا قتل الشخص جدته، فإن أمه لن تولد قط وبالتالي فلن يولد هو ذاته، وما دام لم يولد أصلا، فكيف سيرتد زمنا إلى الماضي؟ وكيف سيلاقي جدته ويقتلها. إن هذه الأحجية، والتي عرفت باسم "أحجية الجدة" أو "مفارقة الجدة" تبدو كافية لإفحام أي ادعاء بإمكانية السفر عبر الزمن للماضي. وكمثال شهير من روايات الخيال العلمي التي عالجت هذه الفكرة، نتذكر الفيلم السينمائي العودة إلى المستقبل **Back to the future** (عام ١٩٨٥). إن بطل الفيلم الذي لعب دوره مايكل ج. فوكس يعود أدراجه إلى عام ١٩٥٥، وبالمصادفة البحتة فإنه يتدخل في علاقة والديه العاطفية، وهنا تبرز المشكلة: فلو أن والديه لم يتحابا، لما ولد هو البتة، ولتعرض وجوده أصلا للخطر. إنه يدرك جيدا أن من واجبه أن يلعب دوره بحيث يقع والداه في الحب، ولكن الأمور لا تسير على ما يرام في البداية ، لقد بدأت أمه تعشقه هو – ذلك الغريب المجهول – بدلا من أبيه (انتبه هنا إلى فرويد). ولإعادة الوالدين لبعضهما يتفتق ذهنه عن خطة محكمة، ولكنه يتحقق من فشلها عندما تختفي صورته وصورة أخيه وأخته من الصورة العائلية التي يحتفظ بها في حافظته – كنذير شر – ويرى فيما بعد كيف تبلى يده .. لقد ذوت وشفت لدرجة أنه أصبح يستطيع الرؤية من خلالها. وهو ذاته في سبيله للاختفاء، ويعاني من وهن شديد. إنه يختفي من الوجود؛ لأنه اعترض قصة الحب بين والديه. وفي خاتمة المطاف حين تنجح خطته ويعود الوئام لوالديه، ترتد له عافيته بغتة وتعود يده إلى طبيعتها، وعندما ينظر في حافظته يجد أن صورته وصورة أخيه وأخته قد عادت جميعها إلى مكانها في صورة العائلة.

(من الممكن أن تذوى اليد فى قصة خيالية ، إلا أن الأمر ليس كذلك فى عالم الفيزياء. فالذرات لا تختفى على هذا النحو).

بالإضافة إلى ذلك وطبقا لمجريات الرواية فإن الفتى يذوى؛ لأنه - وهو المسافر عبر الزمان - قد منع أبويه من التحاب وبالتالى فقد عرقل ميلاده هو. ولكن لو أنه لم يولد قط، فإن خط عالمه بأكمله - منذ ميلاده وحتى مغامرته فى السفر عبر الزمان - سوف ينمحى ولن يوجد من يتدخل بين أبويه ، وتبعا لذلك فإنه سوف يولد فى خاتمة المطاف. من الواضح أن هذه الرواية الخيالية لم تحل "لغز الجدة". ومن الناحية الفيزيائية توجد حلول محتملة لمثل هذه الأحاجى عن السفر عبر الزمن ، على أن الفيزيائيين منقسمون حيالها فيما بينهم أى الطريقين يسلكون: إمكانية الحل أم استحالته؟

الهروب من الزمان ونظرية العوالم المتعددة:

أولا: البديل الجذرى: إنه يتضمن ميكانيكا الكم[١] .. ذلك المجال من الفيزياء الذى تطور وتقدم فى بواكير القرن العشرين ليشرح سلوك الذرات والجزئيات. تبين ميكانيكا الكم كيف أن للجسيمات طبيعة الموجات وأن للموجات طبيعة الجسيمات. ومن المعالم السائدة فيها: قاعدة هايزنبيرج لعدم اليقين **Heisenberg's uncertainty principle** والتى تنص على عدم إمكان الجزم بموضع الجسيم وسرعته فى آن واحد بدقة وعلى سبيل القطع. إن هذا التشكك الذى تطرحه نظرية الكم يهمل عادة على نطاق القياسات الماكروسكوبية **Macroscopic** أو العيانية (أى الأجسام التى يمكن رؤيتها عيانا أى بالعين المجردة)[٢] ، إلا أن له أهميته على مستوى المقاييس الذرية.

(١) الكم فيزيائيا هو أقل كمية من الطاقة يمكن أن توجد منفردة (المترجم)

(٢) اصطلح العلماء على اتخاذ مقياس ١ . ٠ مم كحد فاصل بين الأجسام الماكروسكوبية (العيانية) والأجسام الميكروسكوبية (المترجم)

وتشرح ميكانيكا الكم كيف تطلق الذرات الضوء أو تمتصه عند أطوال موجية محددة عندما تثب الإلكترونات من مستوى طاقة إلى مستوى طاقة آخر، وتقود الطبيعة الموجية للجسيمات إلى ظواهر غير عادية مثل السلوك النفقى على المستوى الكمى[1] وبناء عليها يمكن أن تقفز نواة الهيليوم بغتة خارجة من نواة اليورانيوم متسببة فى ضمور نشاطها الإشعاعى، ويسمح حل معادلات موجة الكم لك بالتنبؤ باحتمال تواجد جسيم ما فى مواضع متنوعة. ويقود هذا بدوره - فى أحد التأويلات - إلى نظرية ميكانيكا الكم عن العوالم المتعددة التى تفترض وجود عوالم متوازية متعددة ومختلفة، حيث يمكن التحرى عن الجسيم فى أحدها. ويرى كثير من الفيزيائيين فى هذا التأويل إضافة لا ضرورة لها للنظرية ، ولكن عددا من الفيزيائيين ممن يعملون فى حدود فهمنا لنظرية الكم يعتدون - بكل جدية - بتأويل مفهوم العوالم المتعددة وما تفرع عنه من تعديلات.

فى هذا المنظور لا يحتوى الكون على تاريخ مفرد (واحد) للعالم ولكن على تواريخ متعددة متوازية. والاعتداد بتاريخ واحد فقط للعالم - كما نفعل - بمثابة أن تستقل قطارا يسير فى طريقه المرسوم على القضبان من الماضى صوب المستقبل، ولكوننا مسافرين على متن القطار فإننا نرى الأحداث تمر بنا كما تمر المحطات بالمسافر على خطوط السكك الحديدية: ها هى ذى الإمبراطورية الرومانية، ها هى ذى الحرب العالمية الثانية، وانظر هاهم الناس يهبطون على سطح القمر. ولكن ربما كان الكون أشبه (بكشك) تحويلات جبار، حيث تتشابك وتتقاطع خطوط السكك. فإلى جوار سكتنا، هناك سكة أخرى حيث لم تقع وقائع الحرب العالمية الثانية قط.

---

(١) ظاهرة فى عالم الكم ينتهك فيها الجسيم قواعد الميكانيكا الكلاسيكية باختراق حاجز لوضعه أو معاوقة تتخطى طاقة حركته ويعنى هنا اختصار الجسيمات لطريق انتقالها كمن يسلك نفقا مستقيما تحت سطح الأرض بدلا من السير فوق سطحها المنحنى. وسيتم شرحه بالتفصيل فى الأبواب التالية. (المترجم)

إن القطار دائب على تغيير مساره والالتقاء بنقاط التحويلات فوق الخطوط المتشابكة، دائم الاختيار لأحد مسارين يقابلانه. ألم يكن من المحتمل قبل الحرب العالمية الثانية، أن يأتى يوم يقتل فيه هتلر ، فيحول قطارنا مساره إلى سكة أخرى لا تقع عبرها الحرب العالمية الثانية؟! فطبقا لنظرية العوالم المتعددة فى ميكانيكا الكم، تتفرع مسارات السكك إلى خطوط أكثر كلما دونت ملاحظة أو اتخذ قرار. وليس من الضرورى أن تكون هذه الملاحظة أو ذلك القرار منسوبين إلى بشر، فحتى عندما يغير إلكترون فى ذرة ما مستوى طاقته منتقلا إلى مستوى آخر، فإن ذلك أشبه بتفرع جديد فى شبكة السكك المعقدة.

وفى هذا السيناريو، من وجهة نظر الفيزيائى دافيد دويتش **David Deutch** بجامعة أكسفورد، يمكن أن ينتقل المسافر عبر الزمان صوب الماضى، فيقتل جدته وهى بعد فتاة يانعة. سيؤدى هذا بالكون إلى أن يتخذ – عبر تفريعة جديدة – مسارا مختلفا عن المسار الذى يوجد به مسافر عبر الزمن وجدة مقتولة. إن الكون الذى عاشت فيه الجدة وأنجبت الأم التى ولدت بدورها المسافر عبر الزمان، ذلك الكون الذى نتذكر رؤيتنا له، لا يزال موجودا ، فمن ذلك الكون (من ذلك الخط الحديدى) جاء المسافر عبر الزمن ، كل ما هنالك أن المسافر عبر الزمان قد انتقل إلى كون مختلف يساهم فيه بتاريخ مغاير.

لقد أجاد جريجورى بنفورد **Gregory Benford** الحائز على جائزة نبيولا [١] لعام ١٩٨٠ تصوير هذه الأفكار فى رواية من الخيال العلمى بعنوان **Timescope** تقع أحداثها فى عام ١٩٩٨ عندما يستخدم البطل حزمة من التاكيونات[٢] (وهى جسيمات

---

(١) جائزة سنوية تمنحها جمعية كتاب الخيال العلمى الأمريكية لأفضل عمل فى هذا المجال خلال آخر عامين. (المترجم)

(٢) اشتق مصطلح التاكيونات من كلمة Tacho وتعنى السرعة باليونانية (المترجم)

افتراضية تتحرك بسرعة أعلى من سرعة الضوء) ، ليطلق إشارة إلى عام ١٩٦٣، محذرا العلماء من كارثة بيئية سوف تجتاح العالم سنة ١٩٩٨.

استرعت هذه الرواية انتباهى، فبها إشارة إلى بحث لى يعود إلى عام ١٩٧٤، إذ يقرأ البطل هذا البحث خلال رحلة له بالطائرة سنة ١٩٩٨، فيهيئ له مدخلا مهما لتصنيع ناقل التاكيونات. وطبقا لصياغة بنفورد فى الرواية: "نقب فى حقيبته باحثا عن بحث لجوت كانت كاثى قد أعطته إياه ، هذا هو تماثل زمنى، علم الفلك وتاكيونات المادة والمادة المضادة حقا مجرد قطعة من الأرض نقتطع منها. ولكن الحلول التى أوردها جوت كانت هناك ، تتألق على صفحات البحث (ليت كل أوراقى البحثية يكتب لها مثل هذا التألق).

ويتم تلقى الإنذار مع انقضاء عام ١٩٦٣، ويعكف العلماء على العمل، إنهم ملمون بنظرية العوالم المتعددة فى ميكانيكا الكم ويساعد نشرهم للتحذيرات على تفادى الكارثة البيئية، وذلك بتوجيههم للكون إلى مسار آخر، يتم فيه تحاشى الكارثة، ويتفق أنه فى كون "مواز" يصاب الرئيس كينيدى فى دالاس بجروح فقط ولكنه لا يقتل.

بالطبع إن ذلك مجرد قصة خيالية ، أليس كذلك، ربما كان هناك كون مواز ما حيث وقعت كل الأحداث بالضبط مثلما ذكرها الكتاب.

لماذا يعتقد بعض الناس فى وجود عدد لا حصر له من الأكوان الموازية، حيث تجرى كل وقائع تاريخ العالم المحتملة، رغم حقيقة أننا جميعا نرصد ونلاحظ تاريخا واحدا مفردا؟ لقد بين الفيزيائى البارز ريتشارد فيينمان **Richard Feynman** بمعهد كاليفورنيا للتكنولوجيا (كاليتك **Caltech**) (اختصار **California Institute of Technology**) أنه على وجه العموم إذا أراد المرء أن يحسب احتمال حدث ما، توجب عليه أن يدخل فى الاعتبار كل تواريخ العالم المحتملة التى قد تؤدى إلى ذلك الحدث. وعلى ذلك، فلربما كانت تواريخ العالم كلها حقيقية.

بوسعنا أن نقترح اقتراحا مرضيا لذلك الشخص الذى يأمل فى العثور على آلة زمن يستطيع بها أن يعود أدراجه إلى الماضى لكى يستنقذ حبيبا كان قد فقده. كل ما نستطيع أن نقول - بقدر ما نستوعبه اليوم - إن ذلك فى حيز الإمكان فقط إذا كانت نظرية ميكانيكا الكم عن العوالم المتعددة حقيقية. فإذا كان الأمر كذلك فهناك سلفا كون مواز ينعم فيه محبوبك بالعيش فى أمان، ذلك بأن كل الأكوان الممكنة موجودة فعلا، ولكنك - لسوء الطالع - فى الكون الخطأ.

مغامرة بيل وتيد المتميزة، والترابط الذاتى للأحداث[1]

والآن دعنا نتناول أحجية الجدة بشكل أكثر تحفظا، إن المسافرين عبر الزمان لا يغيرون الماضى، بل هم دوما يشكلون جزءا منه، والكون الذى نلحظه رباعى الأبعاد تتلوى عبره كالأفعى خطوط العالم. فإذا قدر لبعض خطوط العالم هذه أن تنحنى وتتقوس للخلف، متقاطعة "مع خط حدث ما مرتين، حالتئذ يمكن للمسافر عبر الزمان أن يصافح (نسخة) منه أصغر سنًا". وينبغى أن يكون الحل - على أية حال - مترابطا فى ذاته. وهذه القاعدة عن الترابط الذاتى **Principle of Self Consistency** طورها الفيزيائيان إيجور نوفيكوف **Igor Novikov** بجامعة كوبنهاجن، وكيب ثورن **Kip Thorne** بمعهد كاليفورنيا للتكنولوجيا مع معاونيهما. فى هذه الحالة ربما تناول المسافر عبر الزمان الشاى مع جدته لأمه وهى بعد فتاة صغيرة، ولكن ليس فى الإمكان أن يقتلها - وإلا لما ولد هو أصلا - بينما نحن نعلم علم اليقين بتواجده. إذا شاهدت حدثا عابرا فينبغى أن يقع مثلما وقع فى الماضى. فكر فى أنك تعيد مشاهدة

---

(١) ينص مبدأ الترابط الذاتى على أنه إذا تواجد حدث ما بحيث ينتج عنه تناقض أو تغيير للماضى أيا كان فإن احتمالية وقوع هذا الحدث تساوى صفرا، وقد قدم هذا المصطلح دكتور إيجور نوفيكوف فى ثمانينات القرن العشرين لحل المتناقضات التى تظهر فى السفر عبر الزمن. (المترجم).

الفيلم السينمائى الكلاسيكى "كازابلانكا". أنت تعلم كيف ستجرى الأحداث، مهما كان عدد المرات التى سبق أن شاهدت فيها العرض. فى كل مرة ستستقل إنجريد برجمان نفس الطائرة، وكذلك ستكون رؤية المسافر عبر الزمان لمشهد ما. إنه ليعلم - من دراسته للتاريخ - كيف ستجرى الأحداث، ولكنه غير قادر على تغييرها. إذا عاد أدراجه عبر الزمن وقطع تذكرة للسفر على السفينة "تايتانك" فلن يستطيع أن يقنع قبطانها بخطورة جبال الجليد. لماذا؟ لأننا نعلم مسبقا ماذا جرى، مما لا سبيل إلى تغييره. لو أن أيا من المسافرين عبر الزمان كان على متن السفينة، لفشل حتما فى حمل القبطان على التوقف، وستكون أسماء هؤلاء المسافرين عبر الزمان ضمن كشوف قوائم الركاب والضحايا التى نقرأها اليوم.

يبدو مبدأ الترابط الذاتى مضادا للمعتقد الشائع عن حرية الإرادة، وما يبدو لنا من أننا ذوو إرادة حرة، قادرون على فعل ما يحلو لنا. إلا أن المسافر عبر الزمان يبدو مثل مكبل الإرادة، يبدو وكأنه قد سلب إحدى قدرات الإنسان الجوهرية، ولكن فلتأخذ فى اعتبارك أن إرادتك الحرة لم تسمح لك يوما بإتيان أمر يستحيل منطقيا حدوثه، وهى نقطة مهمة أثارها فيلسوف برينستون دافيد لويس David Lewis عند تحليله لمفارقات السفر عبر الزمن. ربما رغبت أنا الآن فى أن أصبح ثمرة طماطم يزيد حجمها عن حجم الكون بأجمعه، فهل سيتحقق ذلك مهما بذلت من جهد؟ إن قتل شخص لجدته وهى مازالت شابة خلال سفره عبر الزمان - يبدو بالمثل مهمة مستحيلة. وإذا فكرت فى الكون ككيان واحد ذى أبعاد أربعة، تتلوى خلاله خطوط العالم (مثل مجموعة من خراطيم الحدائق)، فستدرك السبب بوضوح. هذا الكيان ذو الأبعاد الأربعة لا يتغير، إنه تمثال منحوت معقد التركيب قابع فى مكانه. إذا طاب لك أن تعرف كيف يسير العيش فى ذلك الكون، توجب عليك أن تنظر بطول خط العالم الذى يخص شخصا معينا من بداية الخط حتى نهايته.

لقد ارتادت كثير من قصص الخيال العلمى فى مجال السفر عبر الزمن مفهوم الترابط الذاتى لتاريخ العالم. ويحتوى العرض السينمائى المدهش مغامرة بيل وتيد المتميزة **Bill & Ted's Excellent Adventure** (عام ١٩٨٩)، على الكثير من

الكوميديا المرتبطة بهذه الفكرة. إن بيل وتيد طالبان بالمدرسة العليا يأملان فى تكوين فرقة لموسيقى الروك، ولكنهما لسوء الحظ راسبان فى مادة التاريخ ، وما لم يجتازا الامتحان فإن تيد سيرسل إلى مدرسة عسكرية فى ألاسكا، فتتشتت الفرقة الموسيقية. وأملهما الوحيد أن يحصلا على علامة امتياز +A فى اختبار مادة التاريخ القادم ولكنهما لا يجدان مخرجا من ذلك المأزق، وهنا يصل مسافر عبر الزمان أتى من عام ٢٦٨٨ (لعب دوره جورج كاملين). من الواضح أن الموسيقى والأغانى الخفيفة التى تنتجها فرقة بيل وتيد الموسيقية تشكل القاعدة لحضارة مستقبلية عظيمة. إن أغانى الفرقة تحتوى على عبارات من قبيل "فلنكن ممتازين بالنسبة لبعضنا البعض" و"تجمعوا يا شباب". وعلى ذلك فقد أتيا لمسافر عبر الزمان ليعاونهما فى مشروعهما التاريخى. وتتألف فعلا فرقتهما الموسيقية، ويزودهما المسافر عبر الزمان بآلة زمن تشبه تماما مقصورة (كابينة) التليفون. وبعد مقابلتهما مع المسافر عبر الزمان القادم من المستقبل يصادف بيل وتيد "نسخة" من نفسيهما أكبر منهما فى العمر قليلا أتيا إلى الحاضر. إن بيل وتيد الصغيرين مقتنعان بأنهما على أعتاب مشروعهما وحلم عمرهما الذى سيصنع لهما تاريخا ويحفظ فرقتهما الموسيقية من التشتت، فيقرران التوجه إلى الماضى لينتقيا بعض الشخصيات التاريخية المرموقة ويضماها إلى مجموعتهما بما يكفل نجاح مشروعهما والحصول على الدرجة المأمولة A+. وإذ نتابع مغامرة بيل وتيد نرى نفس المشهد يتكرر ثانية بحذافيره، ولكن وهما فى مرحلة أكثر تقدما فى السن، ويجرى المشهد تماما كما جرى فى المرة السابقة، دون أية مفارقات - كنتيجة للسفر عبر الزمن.

ويستخدم بيل وتيد آلة الزمان ليطوفا على نفر من الشخصيات التاريخية: نابليون، بيلى الطفل[١] ، فرويد ، بيتهوفن، سقراط، جان دارك، لنكولن وجنكيزخان،

---

(١) (Billy the kid) أمريكى خارج على القانون (١٨٥٩-١٨٨١) من الجنوب الغربى للولايات المتحدة. تضاربت الأخبار عنه ما بين شخصيته كبطل شعبى محبوب، ومجرم قتل نحو ٢١ رجلا - بعدد سنى عمره - ونسجت حوله أساطير كثيرة جعلت منه شخصية شهيرة فى تاريخ أمريكا. (المترجم)

ويحضرانهم إلى كاليفورنيا القرن العشرين، فتنجم عن ذلك حالة من الفوضى، وتواجه الشخصيات التاريخية المتاعب فى مركز "سان ديماس" التجارى. فبيتهوفن يجتذب الجموع الغفيرة حين يعزف على الأرغن الكهربائى فى قسم الآلات الموسيقية، ويلقى القبض على جان دارك عقب توليها التدريس لحصة فى التمارين الهوائية، بينما يتلف جنكيزخان قسما للأدوات رياضية فيما كان يختبر هراوة للبيسبول مستخدما إياها كسلاح. وفى نهاية الأمر يستقر المقام بالشخصيات التاريخية فى السجن. وفيما تجرى هذه الأحداث ينقضى الوقت، ولا يتبقى إلا دقائق معدودة على موعد قيام بيل وتيد بعرضهما التاريخى.

ومن حسن طالعهما أن والد تيد هو مأمور السجن، وإذ ذاك يتذكر "تيد" أن مفاتيح السجن كانت لدى أبيه منذ يومين قبل أن يفقدها. ويقترح بيل استخدام آلة الزمن للعودة للماضى وجلب المفاتيح ولكن لسوء الحظ لا يسعفهما الوقت كى يستقلا آلة الزمن قبل موعد بدء عرضهما التاريخى، وعندها تعن لتيد فكرة نيرة .. لماذا لا يعمدان – بعد الحفل مباشرة – إلى الذهاب للماضى وسرقة المفاتيح، ويمكنهما بعدئذ إخفاؤها فى مكان قريب معلوم لهما، مثل لافتة إرشادية مثلا حسب ما يقترح بيل. يذهب بيل خلف اللافتة الإرشادية ويعثر فعلا على المفاتيح ، فيأخذانها ويحرران جنكيز خان والآخرين من السجن، تاركين المفاتيح لوالد تيد الذى تستولى عليه الدهشة، ويصلان إلى قاعة المدرسة مصطحبين شخصياتهما التاريخية فى الوقت الملائم ويقومان بعرضهما فى مواجهة المستمعين المتحمسين ويحصلان – بالطبع – على علامة النجاح المأمولة، وتتأسس حضارة مستقبلية باذخة مستلهمة من موسيقى الروك. وعلى الفتيين أن يتذكرا الآن أن يعودا أدراجهما إلى الماضى ويجدا المفاتيح ويخفياها خلف اللافتة الإرشادية.

هل مارس بيل وتيد تجربة حرية الإرادة؟ حسنا .. لقد بدا الأمر لهما كأنه كذلك، فخلال مغامرتهما حينما وصلا ليلاقيا ذاتيهما الأصغر سنا، تعجبا من محادثتهما التى ستجرى مستقبلا. لم يتذكرا ما كانا قد قالاه، لذا فقد استمرا فى المقابلة التى

اتخذت بالضبط نفس مسارها السابق بطبيعة الحال. لقد كانا دائما يفعلان ما يريدان فعله، ولكن أفعالهما بدت مقدرة ومحتومة مسبقا. فبمجرد أن عثرا على تلك المفاتيح خلف اللافتة، توجب عليهما أن يعودا إلى الزمن الماضى ويسرقا المفاتيح ويدساها هناك. أليس كذلك؟

ورغم أن الأحداث التاريخية ذات الترابط الذاتى تكون أحيانا معقدة، فإنها – شأن الرواية التى عرضناها – ممكنة الحصول، وقد صورت فى عدد من قصص السفر عبر الزمن إلى الماضى.

إن الترابط الذاتى – ومع التحفظ – هو فى حيز الإمكان: يمكنك أن تزور الماضى ، ولكن ليس فى مقدورك تغييره. وإنى شخصيا لأجد وجهة النظر هذه جد مشوقة، والسبب الأول فى ذلك أن الوصول إلى الحلول القائمة على الترابط الذاتى – وهى فى الحقيقة حلول متعددة – يبدو دوما فى حلم الممكن انطلاقا من مجموعة معلومة من الشروط الابتدائية ، مثلما اقترح ثورن ونوفيكوف ومساعدوهما عبر سلسلة من تجارب الأفكار المحكمة المتقنة ، قائمة على بحث حركة كرات البلياردو وافتراض ارتدادها فى الزمن، فقد حاول هؤلاء العلماء تصور موقف كرة بلياردو .. مسافرة عبر الزمان. ستصطدم بنفسها (التى كانتها فى مرحلة مسبقة) فينحرف مسارها ولا يمكنها أن تدلف إلى آلة الزمان فى المكان الأول والذى كان مقدرا لها ، ولكنهم استطاعوا دوما أن يجدوا حلا قائما على الترابط الذاتى حيث كان الارتطام بمثابة "نقرة" يسيرة لم تمنع الكرة من الدخول فى آلة الزمان ولكن أرسلتها فى مسار من شأنه أن جعلها تحيد عن مسارها السابق فتفادى نفسها وتتلقى فقط تلك النقرة الخفيفة ، بدلا من ارتطام عنيف. ومهما اجتهد الفيزيائيون فى ابتداع مسائل المفارقات، فقد وجدوا دوما إمكانية الحصول على حلول قائمة على الترابط الذاتى انطلاقا من شروط ابتدائية. واتباعا لثورن ورفقائه فإن أولئك الذين يعتنقون وجهة النظر المتحفظة يعتقدون أنه حتى فى الرؤية متعددة العوالم سيتوقع المرء دوما بطلان صحة قاعدة الترابط الذاتى. فإن كل سكة فى شبكة الخطوط المتقاطعة هى نفسها

متـرابطة ذاتيـا. على أية حـال ، فـالطرائـق المترابطـة ذاتيـا لوقـوع حدث مـا يمكن أن تتواجد فى أكوان متـوازية ... يضـم بعضـهـا مسـافرين عبـر الزمن، وفى كل كون من هذه الأكوان تختلف الأحداث. ففى بعضـها - على سبيل المثال - يتناول المسافر عبر الزمـان الشـاى مع جدته الشـابة، فى حين - فـى أكوان أخـرى - يحتسـى الليمونادة. ولكن كل مسـار مـترابط ذاتيـا وفى كل منهـا لا يقتل المسـافر عـبر الزمن جـدته أبدا. ويجد كل مسـافر عبر الزمان أنه من المستحيل أن يغير الماضـى الذى يتذكره.

فى مكان ما من الزمان، وفكرة (الجنى) (جين Jinn)

حتى قـصـص السـفـر عـبـر الزمـان القـائمـة على مـفـهـوم الترابط الذاتى يمكن أن تتضمن ملامح مثيرة للفضول على أية حال. فنحن نفكر - على وجه العموم - فى خط عالم شخص ما، أو جسـيم ما كخط ملتو كالأفعى عبر الزمن، له بداية وله نهاية ، ولكن فى السـفـر عبـر الزمـن يمكن أن يكون لجسـيم مـا خط عـالم يبـدو مثل طوق الهولا[١] ، مجـرد دائرة ليس لها نـهاية، وقد أطلق إيجور نوفيكوف على مثل هذه الجسيمات اسم جين (جنـى أو عـفـريت من الجـن إن صـح التـعـبـيـر) (اشـتـق نوفـيكوف الاسـم من كلمـة "جنى" فـى العـربيـة). ومـثـل الجـنى فى قـصـة علاء الدين فإن هذه الجـسـيـمات تبـدو وكـأنهـا جـاءت عـبـر تعويذة سـحـرية. والسـاعـة فى الفيلم السـينمـائى" فى مكان مـا من الزمـان[١] Somewhere in Time [٢] الذى مـثـلـه كـريسـتـوفـر ريـف "وجـين سيـمـور" عـام ١٩٨٠" مـثـال على ذلك: تبـدأ أحـداث القـصـة فى عـام ١٩٧٢، حـيـث نشـاهـد كـاتب المسرحيات الشـاب الممثل كريستوفر ريف، وهـو يتلقى التهانى عقب ليلة الافتتاح لإحدى مسـرحياته، حين تدنو منه امرأة مسنة من بين جمهور المشاهدين وتناوله سـاعة ذهبية

---

(١) الهولا هولا رقصة أصلها من جزر هاواى يستخدم فيها طوق دائرى. (المترجم)

(٢) تشير الأرقام بين القوسين" إلى ترقيم ملحوظات المؤلف والواردة فى آخر الكتاب". (المترجم)

وهى تهمس له فى لهجة يشوبها الإبهام: "عد لى ثانية" ثم تمضى. وبعد مرور ثمانية أعوام فى سنة ١٩٨٠ وبينما كان الكاتب يقضى إجازة فى الجراند هوتيل وهو فندق بجزيرة "ماكيناك" بميتشجان، يرى فى الفندق صورة فوتوغرافية قديمة داخل إطار لفتاة جميلة. وللفور يقع فى غرام الصبية صاحبة الصورة. وعندما يسأل المرأة المسنة التى تشرف على خدم الفندق عنها تخبره إنها لإليز ماكينا الممثلة الشهيرة التى كانت تقدم عروضها بالفندق فى عام ١٩١٢. ويحاول كاتب المسرحيات الشاب أن يتحرى عن هذه المرأة. وفى زيارة له للمكتبة، يعثر على مقال فى مجلة يحتوى على آخر صورة التقطت لها على الإطلاق .. رباه .. إنها هى المرأة الغامضة المسنة التى ناولته الساعة الذهبية. ويحس كما لو وقع فى الفخ حقا. إنه يزور مؤلفا لكتاب يؤرخ للممثلات الشهيرات، ويعرف منه أن إليز ماكينا قد ماتت فى ذات الليلة التى أعطته فيها الساعة الذهبية، ويكتشف كذلك أنها تكن إعزازا خاصا لكتاب يعالج مسألة السفر عبر الزمن.

يبحث كاتب المسرحيات عند ذلك عن الأستاذ الذى وضع هذا الكتاب، وتتضمن نظرية الأستاذ المؤلف عن السفر عبر الزمان تنويم المرء لذاته مغناطيسيا، فهو يفترض أنك إن ذهبت مثلا إلى فندق قديم واكتسيت بزة تنتمى لزمن غابر وأعملت الجهد فى تخيلك لذلك الزمن الذى تود أن تزوره، مداوما فى دأب على مناجاته ومناداته، فلربما انتقلت إلى ذلك الماضى، ويقول الأستاذ إنه جرب ذلك ذات مرة وأحس فعلا بأنه انتقل أدراجه للماضى، غير أن ذلك الانطباع لم يدم له إلا للحظة، ومن ثم فلا سبيل لديه لإثبات ذلك.

ويتشوف كاتب المسرحيات إلى أن يخوض التجربة بنفسه فيعود إلى الفندق ويعيد مراجعة دفاتر النزلاء القديمة، ليضع يده على التاريخ الدقيق من عام ١٩١٢ الذى نزلت فيه الآنسة الشابة ماكينا بالفندق، فيعثر على الصفحة التى وقعت فيها باسمها. ويجد فى نفس الدفتر توقيعه هو. ياللعجب .. أكان هو أيضا هناك؟ فيشجعه هذا على أن يرتدى زيا ينتمى لذات الحقبة ومعه الساعة الذهبية، ويرقد فى

فراشه بالفندق بعد أن يخفى من الغرفة كل أداة حديثة من مظاهر الحياة المعاصرة من شأنها أن تشوش أو تشتت تركيزه فى الزمن الغابر. مرارا وتكرارا راح يرتل ويركز تفكيره ويناجى ذلك اليوم من عام ١٩١٢ الذى ينشد زيارته، ثم يغرق فى النوم، وعندما يستيقظ – كما خمنت تماما – يجد نفسه محاطا ومحفوفا بالديكورات التى تزين غرفة بفندق طراز ١٩١٢.

(لا تشغل ذهنك بالتفكير كيف يتحقق ذلك فيزيائيا). يذهب الشاب ليدون اسمه فى دفتر الفندق فى التوقيت المضبوط (الساعة ٩,١٨ دقيقة صباحا وفقا لما قرأه فى دفتر تسجيل النزلاء القديم). إنه حريص على تسجيل توقيعه الصحيح فى دفتر النزلاء، فهو يخاف – إن أخطأ – أن يخل بالتعويذة السحرية. ويصحو من إغفاءته مرتدا إلى سنة ١٩٨٠، آملا أن يستعيد الماضى، لا أن يغيره. إنه يقابل مس ماكينا التى تؤدى دورا فى مسرحية تمثل فى الفندق، ولا ندهش حين نراهما قد وقعا فى غرام أحدهما الآخر فى التو وبشدة، إنه موجود عندما تلتقط الصورة لها، وإنها لتنظر له فى وجد وهيام لحظة التقاط الصورة. وبعد ليلة تطارحا فيها الهوى ، يبدآن فى التخطيط معا لحياتهما المشتركة. وحين تلتقط الساعة الذهبية لتعرف الوقت ، تبدأ فى التندر على ملابسه، قائلة إنها عتيقة وتعود إلى طراز ١٥ عاما خلت، فيعارضها مازحا ومتفاخرا بأن لها جيوبا واسعة تستوعب العملات المعدنية، وعندما يستخرج من جيبه إحدى هذه العملات يلاحظ أنها تحمل تاريخ عام ١٩٧٩، هل ارتكب خطأً ما؟ كيف تسربت هذه العملة الحديثة إلى جيبه؟ وعندما يهم بالاقتراب منها، تشرع هى وكل الغرفة فى الذواء بسرعة على بعد منه ويلفى نفسه فى عام ١٩٨٠ وقد عاد إلى فندقه الجديد .. يالله .. ويحاول يائسا أن يناجى مجددا ذلك اليوم من عام ١٩١٢، ولكنه لا ينجح فى استعادته أبدا، فيذوب وجدا ويموت كسير القلب، فى ذات اللحظة التى تظهر فيها مس ماكينا الحسناء محيية إياه، ويغلفهما معا ضوء أبيض يؤذن بالختام.

على الرغم من أن آلية السفر عبر الزمن فى هذه القصة تترك ثغرات غير مستحسنة، فإنها - فيما خلا ذلك - تولى مبدأ الترابط الذاتى عناية كبيرة، فليس فيها من أحجيات ومفارقات. وشخصية كريستوفر ريف لا تغير الماضى على الإطلاق ولكنها تؤدى فيه دورها. إنه يشارك فى الماضى، إذ يأسر ماكينا بحبه، ويعطيها الساعة التى ستعطيها له بدورها وهى عجوز. ولكن من أين يا ترى أتت الساعة؟ إن الساعة هى بمثابة رمز (جنى) ، فالآنسة ماكينا المسنة تعطيها لكاتب المسرحيات الشاب وهو يأخذها عند عودته إلى الماضى فى الزمان ليعطيها لها وهى - بعد - فتاة يافعة، فتحتفظ بها طوال حياتها حتى يحين وقت إعادتها إليه. فمن صنع هذه الساعة؟ لا أحد. إن الساعة لم تخرج قط من أى مصنع ساعات، إن خط عالمها دائرى .. لا نهائى. لقد لاحظ نوفيكوف أنه فى حالة وجود (جنى) ماكروسكوبى، (أى عيانى يرى بالعين المجردة) لابد وأن ينفق العالم طاقة ليصلح من أى بلى أو اهتراء أو (انتروبيا)(١) تراكمت بفعله، حتى يعود سيرته الأولى وهو يتم مسيرته الدائرية اللانهائية.

إذا كان من المسموح به وجود "جنى" على مقياس النظرية، فلا احتمال لوجود "جن عيانى" يرى رأى العين. إن أحداث رواية "فى مكان ما من الزمان" يجوز أن تقع بدون الساعة، يبدو بصفة خاصة جواز عدم وجود الساعة، من أنها تعمل بصورة جيدة فى إظهار الوقت. كان يمكن للمرء أن يتخيل العثور على ساعة معطلة لا تعمل ، أو حتى مشبك أوراق يعود أدراجه للماضى ويتردد بين البطلين (من حسن الطالع أن تصادف ساعة تعمل بكفاءة). ووفقا لميكانيكا الكم فبمقدور المرء دائما - مادام لديه ما يكفى من الطاقة - أن يبرز أى شىء فى أى لحظة .. فيبدو ظاهرا للعيان (وكذا مصحوبا بجسيمه المضاد الذى له نفس كتلته، ولكنه ذو شحنة كهربائية مخالفة). إنه

---

(١) الانتروبيا هى مقياس رياضى للطاقة غير المستفاد منها من الناحية الفيزيائية، أو هى معيار للفوضى والعشوائية. (المترجم)

احتمال بالغ الندرة. وبالمثل بالنسبة"للجنى"، ستزيد ندرة احتمالية العثور على ساعة، على ندرة احتمالية العثور على مشبك أوراق، وتزيد ندرة احتمالية العثور على مشبك أوراق على ندرة احتمالية العثور على إلكترون، فكلما زادت كتلة (الجن) العيانى أو تعقد تركيبه كلما زادت ندرة احتمالية وجوده.

لقد أشار نوفيكوف إلى أنه حتى المعلومات المنتقلة فى مسار مغلق (لانهائى) يمكن أن تشكل (جنيا) مع العلم بعدم وجود جسيمات مادية لها خطوط عالم دائرية. افترض أننى عدت القهقرى فى الزمن إلى سنة ١٩٠٥، وأخبرت أينشتاين كل ما يتعلق بالنسبية الخاصة. كان أينشتاين عندئذ سيتمكن من نشر بحثه فى ١٩٠٥، غير أننى قد عرفت النسبية الخاصة - فيما بعد - عن طريق قراءة بحث أينشتاين. هذا السيناريو ممكن الحدوث، ولكنه ضعيف الاحتمال. على كل حال فالجنى يظل متورطا فى هذه المكيدة.

المبعوثون من القبور - خلق البشر لذاتهم خلال السفر عبر الزمن

تمثل قصة "كلكم أيها المبعوثون من القبور[1] All you Zombies (١٩٥٩)، واحدة من أبرز الروايات التى كتبت على الإطلاق عن السفر عبر الزمن وأكثرها إثارة. كتبها سيد روايات الخيال العلمى روبرت هاينلاين Robert Heinlein . إنها عن شاب فى الخامسة والعشرين نراه جالسا فى حانة يندب مصيره، وللغرابة يطلق على نفسه اسم "الأم التى لم تتزوج". إنه يروى قصته لساقى الحانة، فقد صادفه حظ عاثر. لقد وُلد أنثى تربت فى ملجأ. وقد عاشرها وهى امرأة صغيرة رجل لم يلبث أن تخلى عنها وهجرها. وإذ حملت قررت أن تحتفظ بالجنين. وعندما حان وقت وضعها لحملها

(١) يقصد بها اصطلاحا رفات أعيدت إليه الحياة بقوة خارقة للطبيعة. (المترجم)

أجريت لها عملية قيصرية وأنجبت طفلة. وفى أثناء العملية الجراحية اكتشف الطبيب أن للمرأة أعضاء ذكورة وأعضاء أنوثة معا متواريين داخل بدنها. ويحولها الطبيب من خلال جراحة تصحيحية، وبدون موافقتها - إلى رجل. من أجل هذا كان الرجل يسمى نفسه "الأم التى لم تتزوج". ومما زاد الطين بلة أن غريبا يختطف المولودة من المستشفى فور ولادتها.

ويقاطع ساقى الحانة الرجل قائلا: "لقد كانت السيدة فاذربريدج هى مديرة ملجئك أليس كذلك؟ ألم يكن اسمك وأنت فتاة جين؟ أنا أعرف ذلك دون أن تخبرنى أنت به" ويسأل ساقى الحانة الرجل أو الأم التى لم تتزوج ما إذا كان يريد أو كانت تريد أن يعثر على الرجل الذى عاشرها. فيوافق، فيقود ساقى الحانة الرجل التعس إلى آخر الحانة حيث توجد آلة الزمن فيستقلانها ، راجعين أدراجهما فترة ٧ سنوات و٩ أشهر، وهنا ينزل الرجل التعس من الآلة فى حين يمضى الساقى قدما لمدة ٩ أشهر مستقبلية فى نفس التوقيت المناسب له كى يختطف مولودة ولدت حديثا تدعى "جين". بعدئذ يعود بالطفلة "جين" مدة ١٨ عاما للماضى ويضعها على درج ملجأ. وبعد ذلك يعود إلى الرجل الشاب والذى يكون لتوه قد عاشر امرأة شابة اسمها "جين" وحملت منه. وهنا يأخذ ساقى الحانة الشاب إلى المستقبل ليلقنه أصول مهنة السقاية فى الحانات. وفى النهاية يتدبر الساقى الموقف بمجمله، وينظر إلى الندبة المتخلفة عن العملية القيصرية قائلا - وهو غارق فى تأملاته - أنا أعرف من أين أتيت، ولكن من أين أتيتم أنتم أيها المبعوثون من القبور؟

إن ساقى الحانة الذى هو "جين" قد رجع إلى الماضى ليصبح أبا نفسه وأمها فى ذات الوقت. إن خط عالمه جد معقد ومتشابك(٢). لقد بدأه وهو مولودة باسم "جين"، واختطفه ساقى حانة عائدًا به إلى الماضى، حيث تربى كفتاة فى ملجأ، عاشرها رجل وأنسلها مولودة اسمها "جين"، ثم تغير جنس الفتاة وصارت رجلا ... الرجل الذى كان يندب حظه فى الحانة، ثم اصطحبه ساقى الحانة فى رحلة إلى الماضى، حيث عاشر امرأة اسمها "جين"، ثم التقطه الساقى وبعث به إلى المستقبل حيث يغدو ساقى حانة.

ويسافر هذا الساقى عائدا إلى الماضى ثم يجلس لكى يزن الأمر كله. إنها رواية مترابطة ذاتيا، شاذة بقدر ما هى مشوقة.

وفى قصة "أوريون" للكاتب بن نوفا (١٩٨٤) وعلى مستوى أصل الأنواع يتيح السفر عبر الزمن لبشر المستقبل أن يعودوا القهقرى إلى الماضى ويبدأوا السلالة البشرية، وهكذا يخلق الجنس البشرى – فى الرواية – نفسه بنفسه. وعلى نفس المنوال فإنى أعتبر أن السفر عبر الزمن فى النسبية الخاصة يسمح بأن يكون الكون هو أم نفسه.

التواصل Contact ، ومفهوم الثقوب الدودية

يقود الخيال العلمى أحيانا مباشرة إلى فتح علمى. فى عام ١٩٨٥ كان كارل ساجان Carl Sagan يكتب رواية من نوع الخيال العلمى بعنوان "تواصل" أُخرجت فيما بعد كعرض سينمائى بطولة جودى فوستر. كان ساجان يريد فى قصته للبطلة أن تسقط فى ثقب أسود صغير على سطح الأرض، ثم تمرق من ثقب أسود آخر بعيدا بعيدا فى الفضاء، فسأل صديقه الأستاذ "كيب ثورن" بمعهد كالتك أن يستوثق من أن هذا الجموح الخيالى فيما يكتبه لا يتعارض مع أية قوانين فيزيائية. فأجاب ثورن بأن ما أراده ساجان هو فى حقيقته ما اصطلح على تسميته بالثقب الدودى Wormhole(١) وهو أشبه بنفق يخترق الزمكان، رابطا بين موضعين. أثار ذلك اهتمام ثورن الذى شغف بدراسة فيزيائيات "الثقوب الدودية" ووضح مع زملائه فى العمل، كيف يمكن استغلالها فى السفر إلى الزمن الماضى.

---

(١) يقصد به شق طريق مختصر كما تفعل الدودة التى تخترق باطن التفاحة بدلا من السير على سطحها المنحنى ، وسيتم شرحه تفصيلاً فى الفصول القادمة. (المترجم)

لقد أراد ساجان أن يبين - بأسلوب درامى - عمق النتائج المترتبة على التواصل مع حضارة من خارج نطاق كوكبنا الأرضى (Extraterrestrial) . تلعب جودى فوستر فى الفيلم دور عالمة فى جهاز مخابرات تبحث فى الحضارات الموجودة خارج نطاق الأرض ، وتسمع العالمة إشارة راديوية خلال مراقبتها للنجم فيجا(1) فتخطر بذلك زميلا لها فى استراليا، يجد أن بمقدوره أن يرصد نفس الإشارة من خلال تلسكوبه الراديوى (اللاسلكى) فى نفس الوقت. بعد الاستيثاق من المعلومة يسألها مساعدها :بمن سنتصل الآن؟" فترد "الجميع" ، وفى التو تهتم كل الأطراف وتنخرط فى الأمر، ابتداء من محطة CNN حتى رئيس الولايات المتحدة الأمريكية. ويبدو واضحا أن الإشارة هى فى الواقع رسالة منقولة تليفزيونيا، وتضعها فوستر (العالمة) على شاشة العرض ، فتظهر صورة "هتلر" وهو يخطب فى جمع حاشد للنازى ، ماذا؟ نازيون فى النجم فيجا؟؟ كلا، ولكن سكان النجم فيجا يعيدون إرسال إشارة تليفزيونية سبق أن تلقوها من الأرض، هى جزء من إرسال إذاعى مبكر تم بثه سنة ١٩٣٦، إن نجم فيجا يبعد عن الأرض بمقدار ٢٦ سنة ضوئية، ولذا فقد استغرقت الإشارة التليفزيونية - وهى تنتقل بسرعة الضوء - ٢٦ عاما لتصل إلى نجم فيجا. وعندما تلقى سكان فيجا تلك الإشارة تنادروا بوجود حضارة ذكية على الأرض. (ياله من انطباع سيئ تركناه لديهم فى بدء اتصالنا!). لقد فطن سكان نجم "فيجا" إلى أنه سيسهل علينا فهم إشارتنا نحن الأرضية، فتكون بمثابة رسالة مثالية يعلنون بها عن وجودهم. فما كان منهم إلا أن نسخوا نسخة طبق الأصل من إشارتنا وأعادوا إرسالها إلينا. واستغرق وصول هذا الرد ٢٦ سنة أخرى ليصل لنا فى ١٩٩٨.

وتظهر المجموعة الثانية من الصور والتى تداخلت مع لقطات البث التليفزيونى، مجموعة مشوشة من برنامج عمل مفصل لمخطط إنتاج شىء ما، يتضح أنه نوع من

---

(١) ألمع نجم فى المجموعة النجمية المعروفة بالنسر الواقع (القيثارة) وهو النجم الثانى فى اللمعان بين نجوم القبة الفلكية فى نصفها الشمالى. (المترجم).

سفن الفضاء تبدو ككرة بداخلها فراغ يتسع لشخص. هل ينبغى لنا بناء سفينة الفضاء تلك؟ تستعر تبعا لذلك المجادلات حامية الوطيس .. لعل ذلك ليس بسفينة فضاء، بل قنبلة يجرى إعدادها لتفجير الأرض .. وفى النهاية .. تتغلب وجهة النظر القائلة بأن هؤلاء السكان من خارج كوكب الأرض خيرو النزعة .. ويستقر الرأى على بناء سفينة الفضاء طبقا للمخطط. وتُختار جودى فوستر لتكون رائد الفضاء، وما إن تدلف إلى الكرة حتى يغلق باب السفينة. وينشأ نفق دودى يوصلها مباشرة إلى موضع بمنظومة النجم فيجا. تمرق سفينة الفضاء خلال الثقب الدودى وتخرج قريبا من النجم فيجا ، وتشاهد فوستر نظام سكان النجم فيجا ثم تنطلق بخفة عائدة خلال ثقب دودى آخر، وتصطدم فى عودتها من خارج الأرض بشخص (يشبه أباها). وفى خاتمة المطاف تعود عبر الثقب الدودى إلى الأرض. وللعجب يقولون لها إنها قد عادت فى عين التوقيت الذى غادرت فيه الأرض. وإذ تخرج من الكرة يسألها طاقم إطلاق السفينة لماذا تعطلت عملية الإطلاق. بالنسبة لفوستر، استغرقت رحلتها ١٨ساعة، ولكن بالنسبة للأفراد خارج المركبة لم تستغرق الرحلة أى وقت. فحسب ما شاهدوا، لم تبرح المركبة مكانها. ومن ثمّ يرفض كثير من العلماء روايتها. ولكن فى نهاية الفيلم على أية حال نجد أن مستشار الرئيس للأمن القومى قد لاحظ شيئًا: على الرغم من أن كاميرا الفيديو الخاصة بفوستر لم تسجل أى صور يمكن أن تؤكد حكايتها، إلا أنها بينت انقضاء ١٨ ساعة من الزمن، مما يدل على أنها ذهبت إلى مكان ما. وفى النهاية يتركنا الفيلم ونحن نستنتج أن المستشار ينوى الاحتفاظ بهذا السر فى طى الكتمان.

عندما انتهى ساجان من وضع مخطط روايته، سأل "كيب ثورن" ما إذا كانت الثقوب الدودية تتيح حقا حدوث هذا المخطط من حيث المبدأ وإن احتاج الأمر إلى تقنية فائقة التقدم. كانت مسألة الثقوب الدودية المرتبطة بالثقوب السوداء قد سبق وأن تناولتها المراجع العلمية. ولكن العقبة كانت تكمن فى أن الثقب الدودى ينكمش ويتقلص فى سرعة فائقة بحيث لا يسعف الوقت سفينة الفضاء كى تنتهى من قطعه من

طرفه إلى طرفه الآخر قبل أن يطبق عليها ويسحقها، ففكر كيب ثورن وزملاؤه عندئذ فى طريقة منطقية من الناحية الفيزيائية ليبقى على الثقب الدودى مفتوحا بتأثير مادة مستحدثة فريدة فى خواصها .. مادة تزن أقل من العدم (أى ذات وزن سالب) تتيح السفر خلالها دون التعرض لخطر الانسحاق. عندئذ توصلوا لاكتشاف رائع، تُعالَج بموجبه نهايتا الثقب الدودى بحيث يتمكن شخص جودى فوستر لا من العودة فى نفس لحظة بداية حركتها فحسب، بل حتى قبلها. فهنا كانت آلة زمان تتيح للمرء زيارة الماضى. نشر ثورن ورفاقه نتائج عملهم فى جريدة **Physical Review Letters** المرموقة فى عام ١٩٨٨، مشعلين من جديد الشغف بمسألة السفر عبر الزمن.

رحلة النجوم Star Trek[١]، ومفهوم الدفع بالانفتال Warpdrive[٢]

مثال آخر من الخيال العلمى الذى يستثير الشهوة للبحث العلمى، وهو مسلسل "رحلة النجوم" الذى تمخض عنه ما يصعب حصره من روايات عن السفر عبر الزمن. تجرى أحداث رواية رحلة النجوم فى القرن الثالث والعشرين، وتؤرخ لمغامرات طاقم مركبة فضاء تدعى إنتربرايز **Enterprise** . كانت هذه القصة فى الأصل مسلسلا تليفزيونيا أفرخ عددا من الأفلام السينمائية الناجحة وعددا من المسلسلات التليفزيونية وأصبح موضع تقدير واحترام كنموذج للكلاسيكيات الثقافية.

(١) مسلسل أمريكى من نوع الخيال العلمى أخرج لأول مرة عام ١٩٦٦ يتحدث عن ابتداع وسيلة للسفر بأسرع من سرعة الضوء عن طريق الدفع بالانفتال ليتم الاتصال بكائنات فضائية أخرى. بنيت على هذا المسلسل ١٠ أفلام سينمائية إلى جانب أحد عشر مخططًا ظهروا فى مايو ٢٠٠٩. (المترجم).

(٢) الدفع بالانفتال هو تقنية تتيح السفر فى الفضاء بسرعة تتجاوز سرعة الضوء وذلك بتوليد مجالات دفع من شأنها تكوين فقاعة فضائية تغلف مركبة الفضاء بطريقة تشوه تواصل الزمكان فيتقوس حولها موضعيا وتتحرك المركبة بسرعة تفوق سرعة الضوء بمعامل يعرف بمعامل الانفتال. (المترجم).

لقد أراد جين رودنبرى Gene Roddenberry الذى وضع المسلسل أن يحكى عن سفرة للمركبة بين النجوم نظمت بحيث يزور طاقمها نظاما نجميا مختلفا كل أسبوع، ثم تعود إلى قاعدة انطلاقها لتدلى بتقرير عن نتائج استكشافاتها بحيث يتم البرنامج بأكمله خلال ٥ سنوات. وليسمح بالمركبة أن تتحرك بسرعة تتخطى بكثير سرعة الضوء استعمل فكرة (الدفع بالانفتال). فعلى نحو ما سينفتل الفضاء حول المركبة، أو يتقوس متيحا للمركبة أن تمرق بين النجوم بسرعة. عندما أخرج هذا المسلسل فى أواسط ستينيات القرن العشرين كان غالبية الفيزيائيين يهزءون بالفكرة باعتبارها مجرد فانتازيا. عندها قرر ميجيل ألكوبيير Miguel Alcubierre، وهو فيزيائى مكسيكى ، أن يتحقق مما إذا كانت هذه الفكرة متمشية مع قواعد نظرية أينشتاين للجاذبية. ووجد الأمر كذلك ، ولكن نجاحه كان يقتضى استعمال مادة فريدة من نوعها، ذات المادة التى تلزم لثقب "ثورن" الدودى. ونُشر حل ألكوبيير عام ١٩٩٤ ولكنه لم يتطرق إلى السفر عبر الزمان إلى الماضى، ولكنه حدس أن المرء الذكى يمكنه أن يزور الماضى باستخدام الدفع بالانفتال. بعد عامين بين بحث للفيزيائى ألن إيفيريت Allen Everett كيف يمكن إنجاز ذلك بتطبيق (الدفع بالانفتال) على مرتين بالتتابع.

ومن الطريف أن كاتبى "رحلة النجوم" بدا عليهم دائما أنهم حدسوا بالغريزة أن (الدفع بالانفتال) يمكن أن يستعمل فى زيارة الماضى، فضمنوا هذه الفكرة فى الكثير من حلقات المسلسل. وقد أُحسن تجسيد واحدة من أفضل هذه الروايات فى العرض السينمائى (رحلة النجوم رقم ٤ – رحلة العودة للوطن)، و فيه تشب أزمة فى القرن الثالث والعشرين عندما تصل مركبة فضاء عملاقة من خارج عالم الأرض وتبدأ الإعداد لإرسال شعاع عملاق مهلك لتدمر الأرض.

إن المركبة تبعث بإشارة عبارة عن أغنية للحيتان الحدباء. وهكذا يوضح هؤلاء الغزاة الخارجيون للبشر الأرضيين ممن ينصتون ... أنهم ما لم يتلقوا إجابة تروق لهم من حوت أحدب فإنهم عازمون على تدمير الأرض. ولسوء الحظ فإن الحيتان الحدباء

تكون قد انقرضت فى ذلك الوقت من القرن الثالث والعشرين وما من سبيل إلى وجود أحدها لإجابة الإشارة. ويكون الحل فى استخدام الدفع بالانفتال للارتداد بكيفية ما إلى القرن العشرين الغابر حينما كانت هناك حيتان حدباء، واستعادة زوج منها وإحضارهما ثانية إلى القرن الثالث والعشرين ليغنيا فى توقيت ملائم للغزاة الخارجيين إلى أن تنسحب مركبة الفضاء العملاقة بسلام. وهكذا كما ترى ، يقود الخيال العلمى إلى التفكير العلمى.

لعبة الشطرنج والقوانين الفيزيائية

لماذا يشغف الفيزيائيون - من أمثالى - بالسفر عبر الزمان؟ ليس الأمر متعلقا بأملنا فى براءة اختراع لآلة زمن فى المستقبل القريب، ولكن الأرجح هو أننا نريد أن نسبر حدود قوانين الفيزياء. إن المفارقات الظاهرة المرتبطة بالسفر عبر الزمن تمثل تحديا، وهذه المفارقات هى فى الغالب المفاتيح التى تنتظرها بعض المسائل الفيزيائية المسلية لكى يتم اكتشافها.

وقد انكب أينشتاين على بعض المفارقات عند صياغة نظريته للنسبية الخاصة. وكان الفيزيائى ألبرت ميكلسون **Albert Michelson** والكيميائى إدوارد مورلى **Edward Morley** قد أجريا تجربة طريفة فى ١٨٨٧ بمختبرهما ، لإظهار أن سرعة الضوء تبقى كما هى بصرف النظر عن الاتجاه الذى يتحرك فيه، وأن هذه الظاهرة ينبغى أن تتحقق فقط إذا كانت الأرض ساكنة (فى حين كان العلماء يدركون أن الأرض تدور حول الشمس). مثل هذا تناقضا ظاهريا ، وقد حل أينشتاين هذه المفارقة بتطوير نظريته عن النسبية الخاصة ، تلك النظرية، التى سنرى فيما بعد كيف قلبت رأسا على عقب مفهوم نيوتن عن المكان والزمان. ولقد أثبتت القنبلة الذرية - بصورة درامية - نجاح النظرية، تدعمها المعادلة الشهيرة ط (الطاقة) = ك ع٢ (الكتلة × مربع سرعة الضوء) ، والتى تبين أن مقداراً ضئيلا من المادة يمكن تحويله إلى مقدار هائل من الطاقة.

إن مـيكانيكا الكم، ذلك المجـال الذى كـان أينشـتـاين نفـسـه يتـوجس منه ولكن الفيـزيائيين اعتنقوه منذ ذلك الوقت، لها هـى الأخرى مفارقاتها ، وإن كانت تنجح فى التنبـؤ باحتمـالات الحـصـول على نتـائج مـختلفـة لتجربة مـا، وبطبيـعـة الحـال إذا أنت أضفت الاحتمالات المتنبأ بها لكل النتائج الممكنة لتجربة ما، فينبغى أن تحصل بداهة على مـجـموع كلى يساوى ١٠٠٪، ولكن دافـيد بـولوير **David Boulware** من جـامـعـة واشنطن وهو الذى عمل فى حل مسألة سفر عبر الزمن كنت اكتشفتها، أظهر فيما بعد أن جسيمات الجين (الجنى) تمنع وصول مجموع الاحتمالات إلى ١٠٠٪، وقد واجه جوناثان سيمون **Jonathon Simon** سابقا مـع زملائه هذا التناقض الظاهرى بأن بين أن المرء يسـتطيع ببـسـاطة ضـرب الاحـتمـالات فى مـجـال مـيكانيكا الكم فى مـعـامل تصـحـيح بحـيث يصبح مجموع الاحتمالات ١٠٠٪، وقد أدى هذا البـحث بسـيمون و رفاقه إلى أن يحبذوا أسلوب معالجة فـيينمان **Feynman** المبنى على تعدد التواريخ لميكانيكا الكم حيث إنه يعطى حلولا فذة، بينما فكر ستيفان هوكنج **Stephen Hawking** فى المشكلة بطريقة مختلفة. إذا كانت بعض طرق معالجة ميكانيكا الكم من المرونة بمكان، بحيث تنجح حتى فى مجالات السفر عبر الزمن فإن ذلك سيغرينا بالنظر إلى هذه الطرق على أنها وطيدة الأسـاس. ولمثل هذا السبب يغدو البحث فى السـفر عبر الزمن مشوقا ومثيرا بصفة خاصة، وقد يقود إلى نوع مستحدث من الفيزياء. لاحظ ريتشارد فيينمان مرة أن اكتشاف نواميس الفيزياء يشبه محاولة تعلم قانون الشطرنج بمجـرد مـلاحظة اللعبـة. سيـلاحظ المرء أن الأفيـال تبـقى دائما فـى مربعـات من لون واحد، فيدون ملحوظته تلك كقانون للشطرنج. وبعد ذلك يتوصل إلى قانون أفضل. إن الأفيـال تتحرك على الرقعة قطريا. وبما أن المربعات إذا تحركنا عبر الأقطار لها نفس اللـون، فـإن ذلك يشـرح لماذا تظل الأفـيـال فى المربـعـات ذات نفس اللون. ويمثل هذا القـانون تطورا فى مـعرفة المرء بـاللعبـة. إنه قـانون أبسط ولكنه يشـرح جوانب أكثـر. واكتشاف نظرية أينشتاين للجاذبية بعد معرفة نظرية نيوتن للجاذبية هو اكتشاف من نوع مشابه لذلك. وكمثال آخر، إن معرفة أن قطعة الشطرنج لا تغير أسلوب تحركاتها لهو شبيه باكتشاف قانون حفظ المادة والطاقة.

وفى النهاية، فلنفترض أنك تشاهد مباراة فى الشطرنج حيث يصل (البيدق) إلى نهاية الرقعة فيرقّى إلى (وزير). ستقول "انتظر، إن هذا خرق لقوانين الشطرنج فقطع الشطرنج الواحدة لا تغير طبيعتها" (طبعا هذا لا ينتهك قوانين الشطرنج. ولكن لم يسبق لك ببساطة أن شاهدت مباراة شطرنج تتم حتى النهاية من قبل). كذلك نرتاد فى بحوث السفر عبر الزمان المواقف المتطرفة التى يتشابك ويتضافر فيها المكان والزمان بطريقة غير مألوفة، وبهذا ربما خرقت مسائل السفر عبر الزمان أحكام المنطق العامة مما يجعلها تبدو مستفزة لنا.

وبنفس الطريقة تخرق ميكانيكا الكم والنسبية الخاصة معتقدات بديهية، وإن تم توثيقها بالتجارب. إن ميكانيكا الكم تنتهك توقعاتنا فى حياتنا اليومية لأننا قد اعتدنا على التعامل مع أشياء ذات مقاييس (أبعاد وكتل) فى حين تختص الظواهر الخاصة بميكانيكا الكم بالمقاييس بالغة الصغر. فأنت لم تشاهد قط سيارتك تسلك نفقا فى خروجها من المرآب المغلق، ومطلقا لم تشاهد سيارتك تتحرك وحدها وتجلس فجأة فى الهواء الطلق فى مرجة خضراء. لو أن شخصا ما أنبأك بأن شيئا مثل هذا يجوز أن يحدث (باحتمال ضئيل ولكنه محدود) فربما - قبل القرن العشرين - تجادلت معه بأن نواميس الفيزياء لا تسمح بهذه الظاهرة. على أن حدوث ذلك قد تحقق فى الواقع على مقياس الجسيمات دون الذرية: فلربما مرقت نواة الهيليوم خلال نفق، خارجة من نواة اليورانيوم بأسلوب يطابق هذا الأسلوب بالضبط كما وضح جورج جاموف. ويبدو المروق عبر الأنفاق فى ميكانيكا الكم غريبا لأن ظواهر الكم فى عالمنا المعتاد ذى الأشياء كبيرة الحجم والكتلة قلما تكون ذات أهمية فى وقت من الأوقات. لقد كتب جاموف كتابا لاقى انتشارا ليؤكد على هذه النقطة، اسمه (السيد تومبكينز فى بلاد العجائب) **Mr. Tompkins in Wonderland**(١) وقد أعيد طبعه حديثا معنونا بالاسم

---

(١) مستر تومبكينز شخصية وضعها جورج جاموف فى عدد من الكتب يشرح فيها النظريات العلمية لجمهور العامة مصوغة فى صورة مجموعة من الأحلام يطوف فيها البطل فى عوالم ذات قوانين فيزيائية مختلفة وتتناول النظرية النسبية وميكانيكا الكم والجسيمات دون الذرية والديناميكا الحرارية وما إلى ذلك. (المترجم).

المراوغ السيد تومبكينز فى غلاف ورقى Mr. Tompkins in Paperback . ويوضح الكتاب كيف ينبغى أن يبدو لنا العالم لو أن سرعة الضوء كانت فقط ١٠ أميال فى الساعة. فلو أن ظواهر الكم غدت مهمة على مقياس حياتنا اليومية، لصعب على الصيادين رصد مواقع النمور بالضبط، إذ ستلوح لهم مشوشة غير واضحة المعالم، وستفقد باستمرار سيارتك عندما تمرق - دون توقع - خارج مرآبك (دعك من فقدانك لمفاتيح سيارتك بسهولة) وإذا ما اعتدت على رؤية مثل هذه الأمور، فلن يكون لها أية غرابة فى نظرك.

يلوح السفر عبر الزمن غريبا؛ لأننا غير معتادين على مشاهدة المسافرين عبر الزمن، ولكن لو أننا اعتدنا على رؤيتهم كل يوم، فلن تأخذنا الدهشة لو قابلنا ذلك الرجل الذى كان هو نفسه أمه أو أباه. إن العلم بما إذا كان السفر عبر الزمن محتمل الوقوع من حيث المبدأ ربما منحنا رؤى مستحدثة إلى الكون وكيف تجرى فيه الأمور، بل وحتى كيف نشأ.

الباب الثانى

السفر عبر الزمان إلى المستقبل

إن رحلة الألف ميل لابد وأن تبدأ بخطوة واحدة

لاوتسى

هل من الممكن السفر - عبر الزمان - إلى المستقبل

هل تود أن تزور الأرض بعد ألف عام من الآن؟ لقد بين أينشتاين كيف تفعل ذلك، فكل ما عليك هو أن تستقل سفينة فضاء ... وتيمم شطر نجم يبعد أقل قليلا من ٥٠٠ سنة ضوئية وتعود، قاطعا رحلتى الذهاب والعودة بسرعة ٩٩,٩٩٥ فى المائة من سرعة الضوء.وعندما تعود للأرض ثانية، سيكون قد انقضى من عمرها ١٠٠٠ سنة، بينما لن يزيد عمرك أنت إلا بمقدار ١٠ سنوات. إن تحقيق مثل هذه السرعة فى حيز الإمكان، ففى مسرّعات الجسيمات العظمى نصل بالبروتونات إلى سرعة أعلى من ذلك (تم فى معمل فيرمى Fermilab الوصول إلى أقصى سرعة حتى الآن وتبلغ ٩٩,٩٩٩٩٤٦ فى المائة من سرعة الضوء).

لقد رأينا فيما سلف كيف أخطأ الرافضون فى الماضى عندما استنكروا إمكانية طيران آلات أثقل من الهواء، وكسر حاجز الصوت. ربما كان من الواجب عليهم أن يكونوا أفضل معرفة، فقد استوعب "ليوناردو دافنشى"، أن الطيور تطير برغم كونها أثقل من الهواء، وبالتالى فينبغى أن يكون تشييد آلات طائرة أثقل من الهواء ممكنا.

وبالمثل فأنت عندما تحدث صوتا بسوط ، فإن الفرقعة التى تسمعها هى الدوى الصوتى الذى ينشأ عندما يكسر طرف السوط الدقيق حاجز الصوت. صحيح أننا متفقون على أن طرف السوط أدق كثيرا من حجم الطائرة، بيد أن الفرقعة تثبت وتبرهن على إمكانية اختراق حاجز الصوت. هذا هو ما توصل إليه الباحثون فى "ناسا"(١).

مادام فى مقدورنا أن نسرع البروتونات لتصل سرعتها إلى ٩٩,٩٩٥٪ من سرعة الضوء، فإن بإمكاننا - بالمثل - أن نطلق رائد فضاء بذات السرعة. إن المشكلة لا تعدو أن تكون مسألة تكلفة، فالبروتونات لا تزن كثيرا ومن ثم فإن تعجيلها إلى سرعات عالية غير باهظ التكاليف. غير أن الكائن البشرى يزن قدر وزن البروتون بنحو ٤٠ أكتليون مرة(٢). وعلى ذلك فسيكون تعجيل جسمه - بمعيار الطاقة - أكثر كلفة بما لا يقاس.

وبطبيعة الحال ، يتوجب أن يخطط لسفر البشر بسرعة تقارب سرعة الضوء، بحيث نتحاشى ما قد يتعرض له الجسم البشرى من بلى وتمزق. وعلى سبيل المثال، فلو أننا أردنا أن نتجنب آثار الإفراط فى التسارع، فيمكننا ببساطة أن نحدد هذا التسارع ليكون فى حدود ١ د (حيث د هى قيمة التسارع بالجاذبية المعتادة لنا إلى الأرض). وبهذه القيمة من التسارع، عندما يكتسب الصاروخ سرعته ، تبقى قدما رائد الفضاء منضغطتين إلى الأرضية، ومكسبتين إياه الإحساس بوزنه، نفس الإحساس الذى يشعر به وهو على سطح الأرض، وهو ما يؤكد له توفر الراحة فى رحلته. فلنفترض أنه قد انقضى من عمر رائد الفضاء - وسرعته تتزايد حتى تبلغ ٩٩,٩٩٩٢٪ من سرعة الضوء - ست سنوات وثلاثة أسابيع، وذلك عند النقطة التى

---

(١) (ناسا NASA الهيئة الوطنية لإدارة أبحاث الملاحة الجوية والفضاء، والكلمة اختصار لـ National Aero nautical & Space Administration) (المراجع)

(٢) (الأكتليون = ١٠ ٢٧ (فى الولايات المتحدة وفرنسا)، ١٠ ٤٨ (فى إنجلترا وألمانيا). (المترجم).

يكون قد ابتعدت فيها عن الأرض بمقدار ٢٥٠ سنة ضوئية، وأنه عندئذ قد عكس اتجاه صاروخه وشغل محركاته، فيؤدى انعكاس الحركة هذا إلى تباطؤ سرعة الصاروخ ، وسيمر من عمر رائد الفضاء ست سنوات وثلاثة أسابيع أخرى حتى تهبط السرعة إلى الصفر مرة أخرى قبل استمرار انطلاقه عبر مسافة ٢٥٠ سنة ضوئية .. وبذلك سيصل إلى النجم الذى يبعد ٥٠٠ سنة ضوئية بعد انقضاء ١٢ سنة وستة أسابيع من عمره، وسيعيد الكرة مرة أخرى خلال رحلة العودة، ممضياً١٢ سنة وستة أسابيع أخرى، فى حين سيكون قد انقضى من عمر الأرض ١٠٠٠ عام لدى عودته إليها، وهو الذى لن يكون قد انقضى من عمره سوى ما لا يصل إلى خمسة وعشرين عاما فى أثناء رحلته.

وإليكم أحد السيناريوهات التى تصور لنا كيف يتيسر إنجاز مثل هذه الرحلة؛ ستزن مقصورة رائد الفضاء – مثلاً – خمسين طنًا، وسيصل وزن صاروخه الممتلئ بأكفأ أنواع الوقود المكون – من مادة ومادة مضادة – إلى أكثر من ٤٠٠٠ مرة وزن الصاروخ "زحل ٥" [(١)] "**V Saturn** وها كم كيف يعمل الوقود المكون من المادة والمادة المضادة: فلكل جسيم من المادة (بروتونا كان أو نيوترونا أو إلكترونا) جسيم مناظر له من المادة المضادة (أى بروتون مضاد، نيوترون مضاد وبوزيترون). وعندما يلتقى الجسيم من المادة بنظيره من المادة المضادة، فإن كلا منهما يفنى الآخر، وتنتج طاقة صرفة (صافية) فى صورة فوتونات لأشعة جاما عادة). سيكون هناك فى مؤخرة الصاروخ مرآة ضخمة للضوء (كأنها شراع زورق). ولكى تنطلق مقصورة الرائد من الأرض، فإن شعاع ليزر عملاقا موضوعا فى النظام الشمسى سيسلط على تلك المرآة ،

---

(١) (زحل (٥) والمعروف باسم صاروخ القمر، هو صاروخ متعدد المراحل يعمل بالوقود السائل استخدمته وكالة ناسا فى برامج أبو للو والسكاى لاب من ١٩٦٧ إلى ١٩٧٣ وهو أقوى صاروخ أطلق على الإطلاق ويتجاوز طوله ارتفاع مبنى ذى ٣٦ طابقا). (المترجم)

فيتسارع الصاروخ متجها بعيدا عن النظام الشمسى فى خلال الربع الأول من الرحلة. حينئذ يتخذ الصاروخ سبيله مبتعدا عن الأرض بسرعة ٩٩,٩٩٩٢٪ من سرعة الضوء. عند ذلك سيعكس رائد الفضاء اتجاه صاروخه، منتجًا أشعة جاما التى تخرج من الذيل، مبطئًا من سرعة الصاروخ حتى يصل به إلى الصفر بعد ٢٥٠ سنة ضوئية أخرى ، وعندها ستشتعل المحركات التى يقوم عملها على تطاحن المادة والمادة المضادة ثانية ، ويزيد سرعة الصاروخ مرة أخرى فى طريقه لرحلة العودة. وفى النهاية سيجذب رائد الفضاء مرآة أخرى ويوجه الليزر الموضوع فى النظام الشمسى إليها، فتتباطأ سرعة الصاروخ بكفاءة فى طريق عودته للأرض. سيحتاج مثل هذا المشروع إلى أشعة ليزر من مصدر بالفضاء أقوى بكثير مما هو متاح فى الوقت الراهن، كذلك فإننا حاليا قادرون على تخليق ذرة من المادة المضادة بمفردها فى لحظة ما، ولكن علينا أن نتوصل إلى كيفية تصنيعها والاحتفاظ بها مع ضدها بحيث تتواجدان معا فى ظروف آمنة، ولابد لنا من أن نطور تقنية قادرة على تبريد المحركات لمنع انصهارها. وينبغى أن تدرع سفينة الفضاء بدروع تقيها الذرات المتناثرة فى الفضاء بين النجوم وموجات الضوء التى قد تتدخل. سيكون هناك العديد من المشكلات الهندسية الجادة فليس الأمر سهلا، ولكنه – من وجهة النظر العلمية – يمكن المرء من زيارة المستقبل بحق.

دراسة أينشتاين للزمان وسرعة الضوء

تأكدت نبوءة أينشتاين بتباطؤ مرور الزمن بالنسبة للأجسام المتحركة بالتجارب العملية عدة مرات. وكان أحد هذه المشاهدات تحلل الميونات المتحركة بسرعات عالية، والميونات هى جسيمات أولية (اكتشفت عام ١٩٣٧) يزن الواحد منها حوالى وزن البروتون، وهى غير مستقرة، حيث تتحلل إلى جسيمات أولية ذات وزن أقل. إنك إذا راقبت حزمة من الميونات فى المختبر .. ستجد أن نصفها فقط يبقى بعد مرور جزأين من مليون جزء من الثانية. على أن الميونات التى تتخلق من وابل الأشعة الكونية تنهمر فى الأجزاء العليا من الغلاف الجوى، وتنتقل بسرعة تعادل على وجه

التقريب سرعة الضوء. ويلاحظ عدم انحلال هذه الميونات - وهى فى طريقها إلى سطح الأرض - بنفس السرعة التى تتحلل بها الميونات فى المختبر، وهو ما يتطابق مع تنبؤات أينشتاين.

وفى عام ١٩٧١ شاهد الفيزيائيان جو هافيل Joe hafele وريتشارد كيتنج Rich ard Keating تباطؤ الزمن مع الأجسام المتحركة عندما أخذا ساعات ذرية بالغة الدقة فى رحلة على متن طائرة متجهة إلى الشرق حول الأرض، ذلك الاتجاه الذى يضيف إلى سرعة الطائرة، سرعة دوران الكرة الأرضية الخطية. لاحظ العالمان لدى عودتهما أن ساعاتهما الذرية قد أخرت (تباطأت) قليلا بمقدار ٥٩ نانو ثانية. بالنسبة للساعات على سطح الأرض. وقد توافقت هذه الملاحظة مع نبوءات أينشتاين، (فبسبب دوران الأرض، تدور أرضية المعمل هى الأخرى .. ولكن ليس بنفس سرعة الطائرة. وبالتالى تباطأت الساعات التى على سطح الأرض بمعدل أقل من تباطؤ الساعات على الطائرة).

بدأ أينشتاين التفكير فى طبيعة الزمن وعلاقته بسرعة الضوء وهو مازال فى مقتبل العمر، فتخيل لو أنه بدأ الطيران عند الظهيرة بعيدا عن ساعة ميدان المدينة الكبيرة بسرعة الضوء ونظر خلفه إلى الساعة ، فسيبدو له أن الساعة متوقفة، لأنه يطير بنفس سرعة الضوء القادم إليه من الساعة التى مازالت تشير إلى وقت الظهيرة. هل يتوقف الزمن حقيقة بالنسبة لشخص يطير بسرعة الضوء! تخيل أينشتاين أنه ينظر إلى حزمة الضوء التى كان يطير معها بنفس سرعتها. لابد وأنها ستبدو له كموجة غير متحركة من الطاقة الكهرومغناطيسية، طالما أنه لم يكن متحركا بالنسبة لها. ولكن وجود مثل هذه الموجة الساكنة لا تقره نظرية ماكسويل فى الكهرومغناطيسية .. تلك النظرية وطيدة الأركان، فلابد وأن ثمة خطأً ما .. هذا ما توصل إليه أينشتاين! كانت لديه هذه الأفكار فى عام ١٨٩٦ وهو فى السابعة عشرة من عمره. وستمر تسع سنوات أخرى قبل أن يضع يده على موضع الخطأ. ولم يكن الحل الذى توصل إليه إلا ثورة كبرى فى علم الفيزياء .. ثورة فى مفاهيمنا عن الزمان والمكان.

كان فى الرابعة من عمره .. عندما أراه والده بوصلة مغناطيسية، لقد بدت بالنسبة له معجزة .. معجزة انطلقت به فى مسيرة من العلم والدراسة، فبين سن الثانية عشرة والسادسة عشرة، علم أينشتاين نفسه الهندسة التحليلية الإقليدية وحساب التفاضل والتكامل. كان صبيا متفتحا، ولكنه – وهذا هو الأهم – كان صبيا متفتحا ذا أفكار مدهشة ابتكرها بنفسه، لقد افتتن أينشتاين فى سن مبكرة – بنظرية جيمس كلارك ماكسويل عن الكهرومغناطيسية، تلك النظرية العلمية المثيرة التى كانت حديث الساعة فى تلك الحقبة. سنفحص فيما يلى بعناية هذه النظرية الفريدة .. فلقد كانت الأساس الذى بنى عليه أينشتاين نظريته.

نظرية الكهرومغناطيسية لماكسويل

اصطلح العلماء منذ أمد بعيد على وجود نوعين من الشحنات الكهربائية: موجبة وسالبة، فللبروتونات – على سبيل المثال – شحنات موجبة فى حين أن للإلكترونات شحنات سالبة، وتجذب الشحنات الموجبة والسالبة بعضها البعض، فى حين تتنافر الشحنات السالبة مع السالبة كما تتنافر الشحنات الموجبة مع الموجبة. فضلا عن ذلك، أدرك العلماء أن هذه الشحنات من الممكن أن تكون ساكنة أو متحركة. وللشحنات الساكنة تأثير كهربائى متبادل من نفس النوع الذى يجدونه فى الكهرباء الساكنة. والشحنات المتحركة لا تملك فقط مثل ذلك التأثير المتبادل ولكن لديها علاوة عليه تأثيرا متبادلا مغناطيسيا، فالشحنات المتدفقة عبر سلك موصل تنشئ مجالا كهرومغناطيسيا.

صاغ ماكسويل مجموعة من أربع معادلات تحكم ظاهرة الكهرومغناطيسية. فى هذه المعادلات الأربع، هناك مقدار ثابت C (س)، هو السرعة التى توصّف الشدة النسبية للقوى الكهربائية والمغناطيسية بين الجسيمات حاملة الشحنات. وصمم ماكسويل جهازا مدهشا لقياس الثابت C (س). ووضع على أحد جانبى الجهاز

شريحتين (صفيحتين) متوازيتين إحداهما ذات شحنة سالبة والأخرى ذات شحنة موجبة، وبالتالى تجاذبت الشريحتان نتيجة القوى الكهربائية فيما بينهما، وعلى الجانب الآخر كان هناك ملفان من السلك يسرى فيهما تيار كهربائى، ويجتذب كل منهما الآخر نتيجة قوى المغناطيسية فيما بينهما. وازن ماكسويل ما بين القوة المغناطيسية بين الملفين والقوة الكهربائية بين الشريحتين حتى يحدد النسبة بين القوى المغناطيسية والكهربائية وبالتالى قيمة المقدار **c** (س)، فتوصل إلى أن قيمته تصل إلى ٣٠٠٠٠٠ كيلو متر فى الثانية.

وعلى الفور وجد ماكسويل حلا مدهشا لمعادلاته: موجة كهرومغناطيسية .. تموجات من المجالين الكهربائى والمغناطيسى، تنتقل خلال الفضاء الخاوى بالسرعة س، لقد تعرف هذه السرعة مثل سرعة الضوء التى سبق للفلكيين أن قاسوها من قبل.

وقبل ذلك، فى عام ١٦٧٦ كان الفلكى الدانماركى أولاوس رومر **Oalaus Roemer** قد راقب بدقة الأقمار التابعة للمشترى فى أثناء دورانها حوله. لقد لاحظ أنها تتحرك حول الكوكب فى إحكام عقربى ساعة دقيقين، وعندما تكون الأرض فى أقرب أوضاعها من المشترى تبدو هذه الساعة كما لو أنها تقدمت بمقدار ٨ دقائق، بينما تبدو كما لو أنها تباطأت بمقدار ٨ دقائق عندما تكون الأرض فى أقصى أوضاعها عن المشترى (فى الجهة الأخرى من مدارها). وقد نشأ الفارق بين النتيجتين لأن الضوء – فى الحالة الثانية عندما كانت الأرض أقصى ما تكون عن المشترى – كان فى حاجة ليصل إلى الأرض – إلى ١٦ دقيقة أخرى ليقطع فيها مسافة إضافية تمثل قطر مدار الأرض، وقد سبق للفلكيين قياس ذلك القطر عن طريق تقنيات المسح الفضائى (الفلكى) ومن ثم فقد قادت الحسابات رومر إلى أن الضوء يتحرك بسرعة ٢٢٧٠٠٠ كيلو متر فى الثانية.

وبعد ذلك فى عام ١٧٢٨ قاس الفلكى الإنجليزى جيمس برادلى **James Bradley** سرعة الضوء مستخدما الظاهرة التى تؤدى إلى ظهور المطر – الذى يتساقط عموديا

على الأرض - كما لو كان يسقط بميل إذا ما شوهد من مركبة متحركة. ومن التغير الطفيف فى انحرافات ضوء نجم كان يرصده خلال السنة بينما تعبر الأرض حول الشمس، استنتج برادلى أن سرعة الضوء تعادل ١٠٠٠٠ ضعف السرعة الخطية التى تدور بها الأرض حول الشمس، أى نحو ٣٠٠٠٠٠ كيلو متر فى الثانية.

وهكذا، كان ماكسويل ملما بسرعة الضوء، وعندما حسب فى عام ١٨٧٣ - سرعة موجاته الكهرومغناطيسية ووجدها تسير بسرعة ٣٠٠٠٠٠ كيلو متر فى الثانية، تحقق فى التو من أن الضوء لابد أن يكون موجات كهرومغناطيسية. لقد كان ذلك واحدا من أعظم الاكتشافات فى تاريخ العلم. (وقد أدرك ماكسويل كذلك أن الموجات الكهرومغناطيسية يمكن أن يكون لها أطوال موجية مختلفة، وتنبأ بأن بعضا من هذه الأطوال الموجية يمكن أن يكون أقصر أو أطول بمراحل من أطوال موجات الضوء المرئى. وقد وجد فيما بعد أن الموجات الأقصر تشمل أشعة جاما، والأشعة السينية والأشعة فوق البنفسجية، فى حين تناظر الموجات الأطول الأشعة تحت الحمراء، والموجات فائقة الصغر **microwaves**، وموجات الراديو. واستيحاءً للنتائج التى توصل إليها ماكسويل نجح هاينريخ هيرتز **Heinrch Hertz** فى عام ١٨٨٨ فى إرسال موجات الراديو واستقبالها، ذلك الحدث الذى مهد لابتكار الراديو).

نظرية أينشتاين عن النسبية الخاصة

افتتن أينشتاين بأعمال ماكسويل ، على أنها بنفس القدر استفزته. كان يتشوق لمعرفة كيف سيبدو له شعاع الضوء لو أنه طار بمحاذاته بنفس سرعته. ووفقا لتفكيره، يجب أن تبدو الموجة الكهرومغناطيسية بالنسبة إليه عندئذ ساكنة، موجة ذات قمم وقيعان لا تتحرك وكأنها تعرجات سطح حقل. ولكن معادلات ماكسويل لا تسمح بمثل هذه الظاهرة الاستاتيكية فى الفضاء الخاوى، ومن ثم .. فلابد أن هناك خطأ ما.

على أن أينشتاين قد لاحظ – فضلا عن ذلك – أمرا آخر. افترض أنك حركت جسيما مشحونا بسرعة بمحاذاة مغناطيس ساكن. فوفقا لنتائج ماكسويل وجب أن تتسارع الشحنة المتحركة بتأثير القوة المغناطيسية. والآن فلنفترض العكس، أى أننا مررنا مغناطيسا بسرعة بجوار شحنة ساكنة. فوفقا لمعادلات ماكسويل يجب أن يخلق المجال المغناطيسى المتغير والمتولد عن المغناطيس المتحرك مجالا كهربائيا، وسيؤدى هذا المجال الكهربى إلى تسارع الشحنة نتيجة القوة الكهربية. إن الحالتين – من الناحية الفيزيائية – جد مختلفتين، فى حين أن التسارع الناتج الذى تكتسبه الشحنة سيكون فى الحالتين متماثلا! ومن ثم فقد بزغت لدى أينشتاين فكرة جديدة وجريئة. لقد اعتبر أن الناحية الفيزيائية هى نفسها فى الحالين، حيث إن العلاقة الوحيدة التى تبدو لنا ذات أهمية، هى السرعة النسبية بين كل من المغناطيس والشحنة.

إن الاختراقات الكبرى فى تاريخ العلم تقع فى الأغلب عندما يتحقق شخص ما من أن موقفين – كان يظنهما مختلفين – هما فى الحقيقة متطابقان. لقد اعتقد أرسطو أن الجاذبية تؤدى دورها على الأرض حتى تجعل الأشياء تسقط فى اتجاهها، ولكن قوى مختلفة أدت دورها فى عالم السماوات كى تقود الكواكب والقمر فى دورانها. وتحقق نيوتن من أن ذات القوة التى سببت سقوط التفاحة إلى الأرض هى نفسها التى تحافظ على بقاء القمر فى مساره. لقد تحقق من أن القمر فى حالة (سقوط) مستمر صوب الأرض، لأن مسار الخط المستقيم الذى كان القمر سيتخذه فى الفضاء لولا ذلك السقوط كان ينحرف ويتقوس باستمرار بحيث يرسم دائرة، وهو الأمر الذى لم يكن واضحا من قبل على الإطلاق.

ثمة أمر آخر يتعلق بالضوء بدا غريبا. افترض جدلا أن الأرض تتحرك فى الفضاء بسرعة ١٠٠٠٠٠ كيلو متر فى الثانية، أليس من المفروض أن يمر بنا شعاع ضوئى فى نفس اتجاه حركة الأرض بسرعة ٢٠٠٠٠٠ كيلو متر فى الثانية؟! (هى الفارق بين ٣٠٠٠٠٠، ١٠٠٠٠٠)، و بالنسبة لشعاع ضوئى فى الاتجاه العكسى، ألن يمر بنا بسرعة ٤٠٠٠٠٠ كيلو متر فى الثانية (مجموع ٣٠٠٠٠٠ + ١٠٠٠٠٠)؟ ولكن

الضوء يبدو دائما وهو يمر بالأرض بنفس السرعة، بصرف النظر عن الاتجاه. وفى عام ١٨٨٧ تيقن من ذلك الفيزيائى ألبرت ميكلسون **Albert Michelson** (بمدرسة العلوم التطبيقية بكليفلاند)، والكيميائى إدوارد مورلى **Edward Morley** (بجامعة وسترن ريزيرف المجاورة) وذلك بأن فصلا حزمة من أشعة ضوئية بحيث ذهب نصفها شمالا والنصف الآخر شرقا. ووضعا مرآتين عكستا جزءى الأشعة بحيث تعود جميعها إلى النقطة التى انطلقت منها. قدر ميكلسون ومورلى سرعة الضوء المنتقل فى الفضاء بنحو ٣٠٠٠٠٠ كيلو متر فى الثانية، وسرعة جهازهما المتحرك فى الفضاء بحوالى ٣٠ كيلو مترا فى الثانية (قدر سرعة دوران الأرض الخطية حول الشمس)، وبالتالى فإن سرعة الضوء بالنسبة لجهازهما لابد وأن تكون ٣٠٠٠٠٠ كيلو متر فى الثانية مضافا إليها أو مطروحا منها سرعة الجهاز وهى ٣٠ كيلو متراً فى الثانية، اعتمادا على ما إذا كان شعاع الضوء متحركا فى عكس اتجاه حركة الأرض أو فى نفس اتجاهها. حسب العالمان أن شعاع الضوء الذى يتحرك جيئة وذهابا فى اتجاه حركة الأرض لابد وأن يرتد ثانية متأخرا تأخرا ظاهرا، مقارنة بالشعاع الذى يتحرك ذهابا وإيابا فى اتجاه عمودى على اتجاه حركة الأرض. على أن تجربتهما أظهرت - ومع تحرى كل دقة ممكنة - أن الشعاعين ارتدا ثانية فى نفس الوقت.

كم كانت دهشة ميكلسون ومورلى! ولما كانا واثقين من دقة جهازهما فقد ذهبا إلى أن سرعة حركة الأرض حول الشمس فى وقت إجراء تجربتهما، ربما عادلتها حركة للنظام الشمسى بأكمله فى الاتجاه المعاكس، ومن ثم فقد أعادا التجربة بعد مرور ٦ أشهر، عندما كانت الأرض تتحرك فى مدارها حول الشمس فى الاتجاه المعاكس، وفى هذه الحالة سيكون الفرق بين سرعتى دوران الأرض فى الفضاء حول الشمس ٦٠ كيلو متراً فى الثانية ، ولكنهما حصلا على نفس النتيجة.

تزود أينشتاين بكل هذه المعلومات المهمة، ثم خرج فى عام ١٩٠٥ بمسلمتين مذهلتين: أولا: ينبغى أن تكون ظواهر قوانين الفيزياء هى ذاتها بالنسبة لأى راصد طالما كانت الحركة منتظمة (أى بسرعة منتظمة فى اتجاه ثابت لا تنحرف عنه)، والأمر

الثانى أن سرعة الضوء خلال الفضاء لابد وأن تكون لها نفس القيمة كما يشاهدها كل مراقب يتحرك هو نفسه حركة منتظمة.

للوهلة الأولى يبدو الافتراضان مخالفين للبديهة ، فكيف يمكن أن يمر شعاع ضوئى بمراقبين وله نفس السرعة إذا كان هذان المراقبان يتحركان بالنسبة لبعضهما؟ إلا أن أينشتاين مضى يدلل على مبرهنات **Theorems** عديدة أسسها على هذين الافتراضين، ولقد أيدت التجارب العملية منذ ذلك الحين دقتهما عدة مرات.

برهن أينشتاين على نظرياته بابتكار تمارين فكرية متنوعة، وأطلق على هذا العمل "النسبية الخاصة .. خاصة لأنها مقصورة على الراصدين وهم فى حركة منتظمة، ونسبية لأنها تبين أن الحركات النسبية هى وحدها ذات الأهمية.

فلنتوقف قليلا ولنعجب للإبداع الأصيل فى كل ذلك. إن أحدا من قبل لم يصنع شيئا كهذا فى العلم. كيف تأتى لأينشتاين أن يفكر بذلك؟ لا ريب أن إكباره لما كان يدعوه بكتاب الهندسة التحليلية (المقدس) الذى اقتناه وهو فى سن الثانية عشرة، لعب دوره فى ذلك. كان ذلك الكتاب يصف كيف بين عالم الرياضيات الإغريقى القديم "إقليدس" [(١)] أنه بقليل من المسلمات يستطيع المرء أن يبرهن على العديد من النظريات التى تقوم على تعريف النقاط والخطوط والعلاقات التى تخضع لها. لقد ترك هذا النظام عند أينشتاين انطباعا عميقا. اتبع - ببساطة - بضعا من المسلمات .. وانظر ما الذى يمكنك أن تدلل عليه. إذا كان تعليلك مبنيا على أسس قوية ومسلماتك صحيحة فينبغى أن تكون نظرياتك صحيحة هى الأخرى. ولكن لماذا اتبع أينشتاين هاتين المسلمتين على وجه الخصوص؟

---

(١) إقليدس عالم رياضيات يونانى عاش بالأسكندرية لا يعرف تاريخ ميلاده و وفاته على وجه التحديد غير أنه عاش خلال حكم بطلميوس الأول (٢٨٣-٣٢٣ ق.م) يعرف بأبى الهندسة التحليلية و إليه تنسب الهندسة الإقليدية التى تعتمد على البديهيات . له مؤلفات فى المنظور و القطاعات المخروطية و هندسة الكرة . (المترجم).

كان يعرف أن نظرية نيوتن للجاذبية تخضع للمسلمة الأولى. فطبقا لنظرية نيوتن فإن قوة التجاذب بين شيئين تعتمد على كتلتيهما وعلى المسافة بينهما، لا على السرعة التى يتحركان بها. لقد افترض نيوتن وجود حالة من السكون ولكن ما من وسيلة عن طريق تجارب الجاذبية .. تتيح اكتشاف ما إذا كان النظام الشمسى - مثلا - فى حالة سكون أم لا. وطبقا لقوانين نيوتن، لابد وأن تدور الكواكب حول الشمس بعين الطريقة سواء أكان النظام الشمسى ساكنا - أى غير متحرك - أو كان فى حالة حركة منتظمة سريعة. توصل أينشتاين إلى أنه إذا لم يكن قياس ذلك ممكنا، فلا وجود - ببساطة - لحالة فريدة من نوعها من السكون.

إن كل الراصدين المتحركين حركة منتظمة يمكنهم بنفس الكيفية الادعاء بأنهم كانوا فى حالة سكون. ومادامت الجاذبية غير قادرة على إيجاد حالة فريدة من السكون - هكذا فكر أينشتاين - فلماذا لا يكون ذلك صحيحا بالمثل بالنسبة للكهرومغناطيسية؟ وتأسيسا على أفكاره عن الجسيم المشحون والمغناطيس، استنتج أينشتاين أن السرعة النسبية بين الاثنين هى فقط التى ينبغى أن تؤخذ فى الاعتبار. وبرصد التأثير المتبادل بينهما، لا يمكن للمرء أن يقول ما إذا كانت الشحنة أم المغناطيس فى حالة سكون.

أسس أينشتاين مسلمته الثانية على حقيقة مؤداها أن معادلات ماكسويل تنبأت بأن الموجات الكهرومغناطيسية تنتشر فى الفراغ بسرعة ٣٠٠٠٠٠ كيلو متر فى الثانية. فلو أنك كنت فى حالة سكون فسيمر بك الضوء بتلك السرعة، وإذا مر بك شعاع ضوء بأية سرعة أخرى فإن فى ذلك دليلا كافيا على أنك لست فى حالة سكون (فى الواقع أمل ميكلسون ومورلى أن يستخدما هذه الظاهرة للبرهنة على أن الأرض ليست ساكنة، ولكنهما لم ينجحا). فكر أينشتاين فى أن كل المراقبين المتحركين حركة منتظمة ينبغى أن يعتبروا أنفسهم فى حالة سكون وأن يروا - تبعا لذلك - أشعة الضوء مارة بهم بسرعة ٣٠٠٠٠٠ كيلو متر فى الثانية. كانت مسلمة أينشتاين الثانية تعنى أن المشاهد المتحرك بسرعة عالية، إذا أجرى تجربة ميكلسون ومورلى فإنه دوما

لن يوفق فى الحصول على أية نتيجة. (عندما سئل أينشتاين بعد ذلك بسنوات، اعترف بأنه كان قد عرف بتجربة ميكلسون ومورلى فى عام ١٩٠٥، ولكنه قال إنها لم تترك فى تفكيره أثرا عميقا وإنه فقط افترض أن مثل هذا الجهد مقضى عليه بالفشل، ولكن ينبغى أن نقول اليوم إن تجربة ميكلسون ومورلى شكلت فى عام ١٩٠٥ أقوى برهان على صحة مسلمة أينشتاين الثانية).

خرج أينشتاين بنتيجة: يجب أن يبدو الضوء دائما منتقلا بنفس السرعة إذا مر براصدين ينتقلون بسرعات مختلفة بالنسبة لبعضهم البعض، فقط إذا اختلفت ساعاتهم وأدوات قياسهم. إذا كان لدى رائد الفضاء الذى ينطلق مسرعا ساعة وأدوات قياس مختلفة عما معى فلربما ظل هذا الرائد قادرا على قياس سرعة شعاع الضوء المار به وحسابها ليجدها ٣٠٠٠٠٠ كيلو متر فى الثانية كذلك.

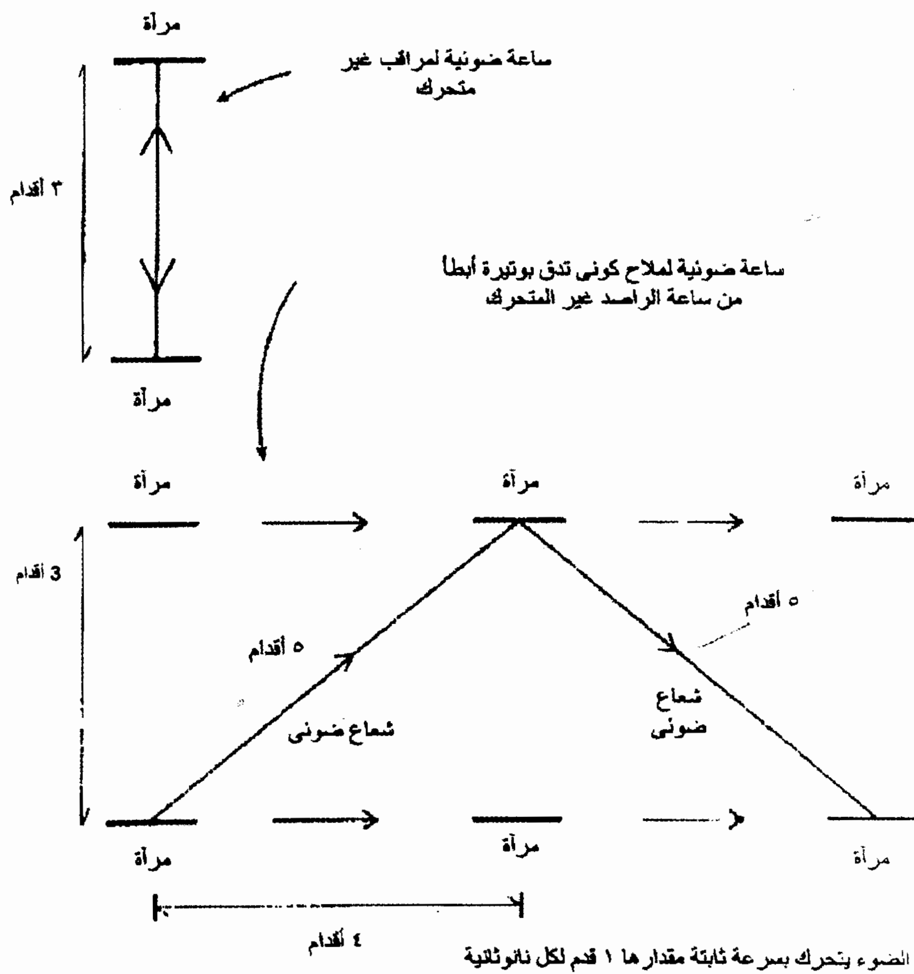
تخيل اسحاق نيوتن الزمن الكونى مطلقا يتفق عليه كل الراصدين، وبناء عليه فإن الساعة المتحركة ينبغى أن تدق بنفس وتيرة الساعة الساكنة. إن مفهوم نيوتن عن الكون تماثله العروض السينمائية القديمة عن المهام التى يكلف بها فريق من الفدائيين. قبل أن تبدأ المهمة، يجمع القائد كل أعضاء الفريق معا ويقول لهم شيئا حول ضبط ساعاتهم على نفس التوقيت: "إنها الآن الثانية وعشر دقائق بعد الظهر" فيضبط كل أعضاء الفريق ساعاتهم على هذا التوقيت. إن القائد يعول على فكرة نيوتن: على الرغم من أن مختلف المتطوعين قد سافروا عبر طرق مختلفة إلى بقاع جد مختلفة وبسرعات ووسائل مختلفة (بطائرة أو بسفينة أو غير ذلك) فإنهم جميعا سيبلغون الهدف فى نفس الوقت. (على كل حال لو أن أحدهم سافر فى سفينة فضاء بسرعة تقارب سرعة الضوء، لتعرضت المهمة للمتاعب). إن مركبة فضاء تتجاوزنى بسرعة وعليها ساعات ، لا يمكن ضبط توقيتاتها مع ساعتى. فطبقا لأينشتاين لا وجود لزمن كونى شامل ومطلق، فالزمن يختلف باختلاف الراصدين، وهذا هو ما يفتح الطريق للسفر عبر الزمن.

لماذا تتباطأ الساعة المتحركة فى توقيتها؟

أوضحت واحدة من أولى المبرهنات التى أثبتها أينشتاين بمسلمتيه، أنه إذا مر بى ملاح كونى بسرعة عالية، فينبغى أن أرى ساعته تدق بوتيرة أبطأ من إيقاع ساعتى. لقد أثبت أينشتاين تلك الفكرة بتجربة تفكيرية مدهشة. لقد تخيل إمكانية تصميم ساعة بسيطة بتمرير شعاع ضوئى بحيث يتردد بين مرآتين، وتدق هذه الساعة مع كل وصول للشعاع الضوئى لمرآة منهما.

إن سرعة الضوء تبلغ ٣٠٠٠٠٠ كيلو متر فى الثانية أى حوالى بليون قدم فى الثانية أو نحو قدم واحد لكل نانو ثانية (جزء من بليون جزء من الثانية). إذا فصلنا بين المرآتين بمسافة ٣ أقدام فإن الساعة ستدق مرة كل ٣ نانو ثانية (شكل رقم ٣). والآن فلنفترض أن صاروخا مر بنا بسرعة تعادل ٨٠٪ من سرعة الضوء وعلى متنه رائد فضاء لديه ساعة ضوئية تماثل فى طولها ساعتنا. إذا نظرنا إلى ساعة الرائد فى أثناء مرورها بنا، فسنرصد الضوء متقافزا جيئة وذهابا متخذا مسار خط متكسر مع انتقال المرآتين من جهة اليسار إلى اليمين كما بالشكل.

وبينما ينتقل شعاع الضوء من المرآة السفلى إلى المرآة العليا، سنراه نحن منتقلاً قطريا إلى أعلى وإلى اليمين، وذلك؛ لأنه عندما يصل شعاع الضوء للمرآة العليا ستكون تلك المرآة قد انتقلت إلى اليمين بالنسبة لموقعها عندما انطلق منها الشعاع، وعندما يرتد الشعاع إلى أسفل سنراه متحركا قطريا إلى الأسفل وإلى اليمين، وحين يصل فى النهاية إلى سطح المرآة السفلى، ستكون هذه المرآة قد تحركت إلى اليمين بالنسبة إلى موضعها الأصلى، ومسافة كل من هذه المسارات القطرية أطول من ٣ أقدام. وحيث إننا يجب أن نرصد الضوء منتقلاً بسرعة قدم واحدة كل نانو ثانية (طبقا للمسلمة الثانية) فسنرى أن الفترة الزمنية التى تنقضى بين دقات ساعة الملاح الفضائى أطول من ٣ نانو ثانية.



شكل رقم (٣): اختلاف الساعات الضوئية

ولكن .. إلى أى مدى ستتباطأ دقات ساعة الملاح؟ يمكننا التوصل إلى ذلك. إذا كان رائد الفضاء منتقلا بالنسبة لنا بسرعة ٨٠٪ من سرعة الضوء ، فسيؤدى هذا إلى أن المسافة القطرية المائلة التى سيقطعها شعاع الضوء بين المرآتين ستصل بالنسبة لنا إلى ٥ أقدام. يمكننا رسم مثلث قائم الزاوية أطوال أضلاعه ٥، ٤، ٣ أقدام (كان قدماء المصريين ملمين بهذه الحقيقة). سيكون طول الضلع الأفقى ٤ أقدام وطول الضلع الرأسى ٣ أقدام وطول الضلع القطرى (المائل) ٥ أقدام. وبينما ينتقل شعاع الضوء عبر المسار القطرى إلى أعلى وإلى اليمين مسافة ٥ أقدام، ستنتقل المرآة السفلى أفقيا إلى اليمين بسرعة ٨٠٪ من سرعة الضوء لمسافة ٤ أقدام تماما. وحيث إنه يتوجب علينا أن نرصد الضوء منتقلا بسرعة ١ قدم لكل نانو ثانية فنستنتج أن الفترة الزمنية بين دقات ساعة الرائد هى ٥ نانو ثانية، فبعد ١٥ نانو ثانية يتحتم أن نرصد لساعته ٣ دقات، ولكن خلال نفس الزمن (١٥ نانو ثانية) سنرصد ٥ دقات على ساعتنا. وهكذا كلما دقت ساعتنا ٥ مرات دقت ساعة الرائد ٣ مرات فقط أى إنها أبطأ من ساعتنا.

والآن فلنناقش جانبا آخر مهما. ألا يمكن لرائد الفضاء أن يستعمل دقات قلبه بمثابة ساعة ميقاتية من طراز آخر. إن المرآتين المتوازيتين بشعاع الضوء المتقافز متنقلا بينهما ، وكذا دقات قلبه هما بمثابة ساعتين لا تتحركان بالنسبة لبعضهما، وبناء على ذلك فلابد وأن تكون النسبة بين معدل دقاتهما ثابتة. إذا اعتبرنا رائد الفضاء المنتقل بسرعة ٨٠٪ من سرعة الضوء ، فإننا لن نرى فقط أن ساعته الضوئية تدق ٣ مرات مقابل كل ٥ دقات من ساعتنا الضوئية ، بل إن معدل دقات قلبه كذلك ستبدو أبطأ من معدلات دقات قلوبنا بنفس المعامل. وعلى ذلك فإن تقدمه فى السن ينبغى أن يتباطأ بالمثل. فإذا تقدم بنا العمر خمس سنوات سنلاحظ أنه هرم ثلاث سنوات فقط، أى إن الساعات البيولوجية – شأنها شأن الساعات الضوئية – ينبغى أن تتباطأ بذات القدر ، وإلا لأمكن للرائد أن يقول إنه متحرك ، مما ينتهك المسلمة الأولى.

إن هذه الظواهر لتصبح أكثر دراماتيكية عندما تدنو سرعة الرائد من سرعة الضوء وتقاربها. وتعتمد النتيجة المتحصلة على النسبة ، حيث تعبر "ع" عن سرعة الرائد بالنسبة لنا فى حين تعبر "س" عن سرعة الضوء.

ترى هل بوسعك أن تستعيد مبادئ الهندسة التحليلية التى درستها فى المرحلة الثانوية (بعيدا عن ذكريات ألعابك الرياضية آنذاك)؟ لقد كانت قاعدة فيثاغورس واحدة من تلك النظريات التى تنص على أن مربع طول الوتر فى المثلث قائم الزاوية يعادل مجموع مربعى الضلعين الرأسى والأفقى. عندما ترى الضوء يتحرك لمسافة قدم واحدة فى الاتجاه القطرى المائل، فإن ساعة رائد الفضاء ستنزلق إلى اليمين مسافة تساوى قدما واحدا مضروبة فى المعامل $\frac{ع}{س}$ ، فينشأ ضلعان آخران لمثلث قائم الزاوية، فإذا كان طول الوتر القطرى قدما واحدة فإن الضلع الأفقى سيساوى $\frac{ع}{س}$ قدما، وبتطبيق نظرية فيثاغورس فإن طول الضلع الرأسى سيساوى $\sqrt{١ - \frac{ع^٢}{س^٢}}$ قدما (بتربيع المقدار $\sqrt{١ - \frac{ع^٢}{س^٢}}$ ليصبح $\left(١ - \frac{ع^٢}{س^٢}\right)$ ثم بإضافته إلى ٢، $\left(\frac{ع}{س}\right)$ نحصل على ١ صحيح). وعلى ذلك فإن المسافة التى نرى أن شعاع الضوء يقطعها فى اتجاه المرآة العليا لا تساوى قدما واحدة، ولكنها تساوى قدما واحدة مضروبا فى المعامل $\sqrt{١ - \left(\frac{ع}{س}\right)^٢}$ وحيث إن الشعاع ينبغى أن يتحرك إلى أعلى مسافة ٣ أقدام قبل أن نرصد دقة ساعة رائد الفضاء، فإن تلك الساعة يجب أن تدق بمعدل قدره معدل دقات ساعتنا مضروبا فى المعامل $\sqrt{١ - \left(\frac{ع}{س}\right)^٢}$ ، فإذا مر بنا رائد الفضاء وهو يتحرك بسرعة ٩٩,٩٩٥٪ من سرعة الضوء فإننا سنجد أن ساعته تدق بمعدل يساوى واحدا فى المائة من معدل دقات ساعتنا، وبعد مرور ١٠٠٠ سنة من عمر

الأرض، سيلاحظ ساكنوها أن عمر رائد الفضاء قد انقضى منه ١٠ سنوات فقط. والحقيقة أن لدى الراصدين الذين يتحركون بالنسبة لبعضهم البعض مفاهيم مختلفة عن الزمن، وهذه الحقيقة هى التى جعلت من السفر عبر الزمن إلى المستقبل أمرا فى حيز الإمكان. إن هؤلاء الراصدين سيختلفون حتى فى توقيت الأحداث الآنية (أى المتزامنة)، وهى الظاهرة التى ستلعب دورا بارزا فى استيعابنا كيف يمكن أن يتم السفر عبر الزمن إلى الماضى.

تخيل أن رائد فضاء مر بنا بسرعة ٨٠٪ من سرعة الضوء، ورصدنا وقت مرور صاروخه بنا من اليسار إلى اليمين فألفيناه ٥ ,٢٢ نانو ثانية. فبسرعة مقدارها ٨ ,٠ قدم/نانو ثانية سيكون قد قطع بالنسبة لنا ١٨ قدما خلال زمن قدره ٥ ,٢٢ نانو ثانية، فنقول إن طول صاروخه ١٨ قدما. سنراه جالسا فى منتصف الصاروخ، على بعد ٩ أقدام من المقدمة ، ٩ أقدام من الذيل. فإذا أرسل إشارتين ضوئيتين إلى مرآتين عند مقدمة الصاروخ وذيله فإن الإشارتين ستنعكسان على المرآتين وترتدان إليه فى ذات اللحظة، ولما كانت المرآتان على نفس البعد عنه، والضوء ينتقل بسرعة ٣٠٠٠٠٠ كيلو متر فى الثانية فلا شك أنه سيؤكد أن الإشارتين قد وصلتا إلى المرآتين فى عين اللحظة، فى حين إنه بالنسبة لنا فإن الإشارة الضوئية المرسلة إلى المرآة الخلفية بذيل الصاروخ ستستغرق ٥ نانو ثانية لتصل إليها. وفى خلال هذا الزمن ستقطع الإشارة الضوئية مسافة ٥ أقدام إلى اليسار فى حين أن الصاروخ المتحرك بسرعة ٨٠٪ أى $\frac{4}{5}$ سرعة الضوء سيكون قد تحرك مسافة ٤ أقدام جهة اليمين مكملا بقية المسافة (٩ أقدام).

ولكن ماذا عن الإشارة الضوئية التى أرسلها رائد الفضاء فى اتجاه المرآة بمقدمة صاروخه؟ لابد وأن تلحق هذه الإشارة بالمقدمة التى تتحرك هى الأخرى، ويستغرق ذلك اللحاق ٤٥ نانو ثانية بالضبط، فالمقدمة سابقة للإشارة الضوئية فى

البداية بمسافة ٩ أقدام ، وفى خلال ٤٥ نانو ثانية سيقطع الضوء ٤٥ قدما فى حين تتحرك مقدمة الصاروخ ٨٠٪ من هذه المسافة، أى ٣٦ قدما، وبهذا يعوض الضوء مسافة الأقدام التسعة التى كان متأخرا بها، وعلى ذلك فإننا نرصد أن إشارة الرائد الضوئية إلى المرآة الخلفية ستصلها بعد ٥ نانو ثانية فقط، فى حين تصل إشارته إلى المرآة الأمامية بعد ٤٥ نانو ثانية، وهكذا فمن منظورنا تصل الإشارة المرسلة إلى الذيل قبل وصول الإشارة المرسلة للمرآة الأمامية إلى هدفها.

عندما تصل الإشارة إلى ذيل الصاروخ فإنها تنعكس على المرآة الخلفية وتبدأ حركتها فى اتجاه المقدمة، مرتدة إلى رائد الفضاء. كم ستستغرق من الوقت فى منظورنا؟ على شعاع الضوء أن يلحق بالرائد الذى يتقدم عنه بمسافة ٩ أقدام فى البداية، وبنفس التحليل الذى سبق طرحه سيحتاج إلى ٤٥ نانو ثانية لتحقيق ذلك، وسنرى أن الإشارة ستصل للمرآة الخلفية، وتنعكس عليها ، وتصل إلى الرائد ثانية بعد ٥٠ نانو ثانية (وهى مجموع ٤٥ + ٥ نانو ثانية).

وماذا عن الإشارة التى ستنعكس من على سطح المرآة الأمامية؟ ستحتاج فقط إلى ٥ نانو ثانية إضافية لتعود إلى رائد الفضاء، لأن شعاع الضوء سيتحرك إلى الخلف ٥ أقدام فى نفس الوقت الذى سيتحرك فيه الرائد إلى الأمام ليتلاقيا، وهكذا سنجد الزمن الكلى لرحلة شعاع الضوء ذهابا وإيابا من المرآة الأمامية هو أيضا ٥٠ نانو ثانية.

سنرى شعاعى الضوء يصلان إلى رائد الفضاء فى نفس اللحظة مثلما يرى هو تماما، بيد أنه يفطن إلى أن شعاعى الضوء سيرتطمان بالمرآتين الأمامية والخلفية آنيا (فى نفس اللحظة) لأنه متواجد بوسط صاروخه ويدرك أنه غير متحرك، أما نحن فنختلف فيما إذا كان ارتطام شعاعى الضوء بالمرآتين الأمامية والخلفية حدثين آنيين، ولا يعنى هذا أن أحدنا مصيب والآخر مخطئ، فكلانا مصيب فى إطار مرجعيته الذاتية.

والآن هلم بنا إلى نتيجة مدهشة أخرى. سأقول إن رائد الفضاء تلقى ارتداد الإشارتين الضوئيتين بعد ٥٠ نانو ثانية. ولكنى أدرك أنه يتحرك بسرعة ٨٠٪ من سرعة الضوء، وعلى ذلك فينبغى أن أرى ساعته تدق بمعدل ٦٠٪ من معدل ساعاتى، وأدرك أن ساعاته ستشير إلى مرور ٣٠ نانو ثانية فقط ما بين إرساله للإشارتين وبين استقبالهما بعد ارتدادهما. ويعتبر الرائد نفسه ساكنا، ويعلم أن الضوء ينتقل بسرعة ١ قدم/نانو ثانية، لذا فلابد أن يبدو له أن إشارتى الضوء استغرقتا ١٥ نانو ثانية لتبلغا المرآتين الأمامية والخلفية ١٥ نانو ثانية أخرى لتعودا. وهكذا فإنه سيستنتج أن مقدمة صاروخه وذيله يبعد كلاهما ١٥ قدما عنه وأن طول الصاروخ الكلى ٣٠ قدما. ولكن فلنتذكر أننا قسنا طول الصاروخ ووجدناه ١٨ قدما، وعليه سنقول إن طول الصاروخ بالنسبة لنا يصل إلى ٦٠٪ من طوله بالنسبة للرائد، وهذا هو نفس المعامل الذى نرى ساعاته تتباطأ به بالنسبة لساعاتنا. إن عصا قياس يحملها رائد الفضاء موازية لاتجاه حركته ستبدو لنا كما لو أنها تقلصت. لو أنها لم تنكمش ، لدقت الساعة الضوئية التى يحملها الرائد موازية لاتجاه الحركة بمعدل يختلف عن معدل دقات الساعات الضوئية الأخرى العمودية على اتجاه الحركة ، وسيقول الرائد إنه متحرك غير ساكن ، وهو ما لا تسمح به المسلمة الأولى.

لقد خاطبت بالمناقشة السابقة نصف الكرة الأيسر من دماغك، المختص بالجانب اللغوى والمنطقى وأجدنى الآن متجها لشرحها للنصف الأيمن منه (المختص بالرؤية والمكان): يمثل شكل (٤) مخططا زمكانيا للمناقشة السابقة: إن خط العالم الخاص برائد الفضاء وخطى العالم الخاصين بالمرآتين الأمامية والخلفية بالصاروخ ممثلة على يمين الشكل. أمسك بمسطرة قياس فى وضع أفقى وامسح بها الشكل من أسفل إلى أعلى. إن تقاطع خطوط العوالم مع المسطرة سيقدم لك عرضا تتبين معه كيف تجرى الأمور من وجهة نظرنا. راقب رائد الفضاء وصاروخه متحركين من اليسار لليمين مع الزمن كلما حركت المسطرة ببطء إلى أعلى. ويُرى شعاعا الضوء اللذان أرسلهما إلى مرآتى الصاروخ الأمامية والخلفية ثم استقبلهما، كخطين مستقيمين مائلين بزاوية ٤٥

درجة، حيث ينبغى أن نراهما متحركين بسرعة ١ قدم لكل نانو ثانية. سنرى أن وصول الشعاع الضوئى إلى ذيل الصاروخ (الحدث أ) يحصل أولا قبل وصول الشعاع الضوئى إلى مقدمة الصاروخ (الحدث ب)، إلا أن رائد الفضاء الذى يعتبر نفسه ساكنا يشاهد الحدثين آنيا (بعد ١٥ نانو ثانية وفقا لتوقيت الرائد وكما هو مبين على الساعات الصغيرة بالشكل وبالخط المائل المرقم (١٥ ن ث - ز ر) الذى يصلهما معا.

زر: زمن رائد الفضاء

زأ: الزمن الأرضى

ن ث: نانو ثانية

الشكل رقم (٤)

المفاهيم المختلفة للزمن بالنسبة للرائد وبالنسبة للأرض

ويبين شكل ٤ أيضا التجربة من وجهة نظر توقيت العالم الأرضى، إن خط العالم الأرضى يتجه عموديا إلى أعلى لأن الرائد بالنسبة لنا ليس متحركا مع الوقت فيما نتحرك بالمسطرة الأفقية إلى أعلى. ويربط الساعتين الأرضيتين ، الخط الأفقى المرقم (١٥ ن ث – زأ) لأنه ساكن بالنسبة لنا.

إن الزمكان أشبه برغيف من الخبز فى وضع عمودى. إذا نحن قسمناه – أفقيا – إلى شرائح حصلنا على شرائح تمثل لحظات مختلفة من الزمن الأرضى، ويكون الحدثان متزامنين (آنيين) إذا وقعا فى نفس الشريحة ، أما إذا قطع رائد الفضاء الرغيف فسيقطعه بصورة مختلفة (أى بميل مثلما يقطع الخبز الفرنسى). والأحداث الواقعة فى نفس الشريحة المائلة ستظهر متزامنة بالنسبة للرائد. ويفسر هذا لماذا نختلف مع الرائد بخصوص أبعاد عرض صاروخه. فنحن نقطع خط عالمه رباعى الأبعاد بطريقة تختلف عنه، ويشبه هذا سؤالنا عن سمك جذع شجرة ما. فسمكه إذا قطعته أفقيا يختلف عن سمكه إذا قطعته بميل.

(يمكنك الآن أن تعرف ما إذا كنت تفضل استعمال نصف مخك الأيسر أم الأيمن. إذا كنت – شأنك شأن معظم الناس – من النوع الذى يفضل النصف الأيسر فستجد الوصف اللفظى أكثر إقناعا من رسم الزمكان البيانى التخطيطى والذى يبدو غريبا غير مألوف ، وإنما أضمنه هنا لفائدة من يفضلون – مثلى – جانب المخ الأيمن. ولقد رأيت مثل هذا الرسم التخطيطى لأول مرة فى كتاب لماكس بورن **Max Born** الحائز على جائزة نوبل، وجد المطربة أوليفيا نيوتن جون، عندما كنت فى السنة الدراسية الثامنة وكم كان هذا الكتاب ملهما لى).

لو مرق رائد فضاء بالمنظومة الشمسية بسرعة ٩٩,٩٩٥٪ من سرعة الضوء ، فسنرصد أن ساعاته تدق بمعدل $\frac{١}{١٠٠}$ من معدل ساعاتنا وأن صاروخه قد انكمش

طوله بنفس المعامل. فلنفترض جدلا أننا نراقبه وهو يسافر متجها إلى نجم "إبط

الجوزاء أو منكب الجوزاء" [1] Betelgeuse الذى يبعد عنا بنحو ٥٠٠ سنة ضوئية. وبما أنا نراه متحركا بسرعة تقارب سرعة الضوء فستستغرق مثل هذه الرحلة حوالى ٥٠٠ سنة. غير أننا نرى ساعاته تدق بمعدل ٠,٠١ من ساعاتنا، لذا فإنه سيكبر فى السن خلال رحلته بنحو ٥ سنوات فقط. وعندما يصل إلى نجم "إبط الجوزاء" سيكون عمره أكبر بخمس سنوات من عمره عندما مر بشمسنا.

ولكن كيف يا ترى تبدو الرحلة بالنسبة لرائد الفضاء؟ إنه يعتبر نفسه غير متحرك، وسيرى الشمس وإبط الجوزاء يتحركان بالنسبة له بسرعة ٩٩,٩٩٥٪ من سرعة الضوء وبالتالى فإن المسافة بينهما من وجهة نظره خمس سنوات ضوئية فقط (١٪ من الخمسمائة سنة ضوئية كما نقيسها نحن). إن الشمس وإبط الجوزاء يمثلان مقدمة وذيل "صاروخ" تخيلى يمرق به بسرعة مقاربة لسرعة الضوء. فطول هذا الصاروخ الكلى - بالنسبة له - يبلغ ٥ سنوات ضوئية. ومن ثم فإن ذيل هذا الصاروخ التخيلى (نجم إبط الجوزاء) سيمر به بسرعة تقارب سرعة الضوء بعد خمس سنوات من مرور الشمس به، ولذا فهو عندما يلتقى بنجم إبط الجوزاء سيكون قد تقدم فى عمره خمس سنوات، بالضبط كما توقعنا.

من الطريف أن تجارب أينشتاين الفكرية لم تشمل أناسا على الأرض يتطلعون إلى رائد فضاء يستقل صاروخا ، ولكنه حلل حالة راصد بمحطة سكة حديدية يتبادل الملاحظات مع راصد آخر بمنتصف قطار يمرق بسرعة خاطفة. لقد استخدم أينشتاين القطار باعتباره أسرع وسيلة انتقال كانت قد ابتدعت حتى عام ١٩٠٥ .

(١) أحد النجوم الساطعة فى مجموعة الجبار أو الصياد Orion ويحتل الكتف اليمنى منه ويظهر أوضح ما يكون فى ليالى الشتاء. (المترجم)

لماذا لا يمكن للصواريخ أن تتجاوز سرعتها سرعة الضوء؟

لو أننا افترضنا سفرنا على متن صاروخ رائد فضائى بسرعة تتجاوز سرعة الضوء، فلن يكون لشعاع ضوئى .. يرسله الرائد إلى الأمام أن يلحق البتة بمقدمة الصاروخ، حيث إن هذه المقدمة ستكون سابقة للشعاع ومتحركة بسرعة تتجاوز سرعته ، وأى رياضى ألعاب قوى يدرك جيدا استحالة اللحاق بآخر متقدم عنه يعدو بسرعة تتجاوز سرعته هو. وستكون أرصاد رائد الفضاء متناهية الغرابة، إذ إنه سيطلق الشعاع الضوئى موجها إياه نحو مقدمة الصاروخ ولكنه أبدا لن يرى وصول الشعاع، بعكس ما يرصده شخص على الأرض ، وعلاوة على إحساسه بأنه غير متحرك، يدرك رائد الفضاء أنه فى حالة حركة، وهو ما يتعارض مع المسلمة الأولى.

وبناء على ذلك فقد خلص أينشتاين إلى أنه ما من شىء يمكن أن تتعدى سرعته سرعة الضوء. وبذا اكتشف حدا أقصى للسرعة فى الكون .. إنها سرعة الضوء .. شىء مدون فى بنية الكون، وكذا فى الكهرباء الديناميكية. يستخلص هذا الحد الأعلى للسرعة مباشرة من مسلمتى أينشتاين... هاتين المسلمتين اللتين نثق بهما، حيث تأكد العديد من النتائج المستنتجة منهما. إننا نعجل البروتونات فى أعظم مسارعات الجسيمات ونجتهد فى زيادة سرعتها، راصدين دنو هذه السرعة من سرعة الضوء وإن كانت لا تبلغها البتة - تماما مثلما تنبأ أينشتاين.

إن معادلة أينشتاين ط = ك س٢ (حيث ط هى الطاقة وك هى الكتلة، س٢ هى مربع سرعة الضوء) هى نتيجة أخرى برهن عليها أينشتاين استنادا إلى مسلمتيه، ومن ثم فإن فقدان قدر ضئيل من الكتلة يصحبه انطلاق كمية هائلة من الطاقة، وعندما تنفجر قنبلة ذرية فإن قدرا يسيرا من المادة يتحول إلى كمية طاقة هائلة، وتؤدى القنبلة عملها، وهكذا تتأكد صحة المسلمتين، وليس لنا أن نتوقع مشاهدة رائد فضاء يطير بسرعة تتخطى سرعة الضوء.

كون ذو أبعاد أربعة .. بل أكثر

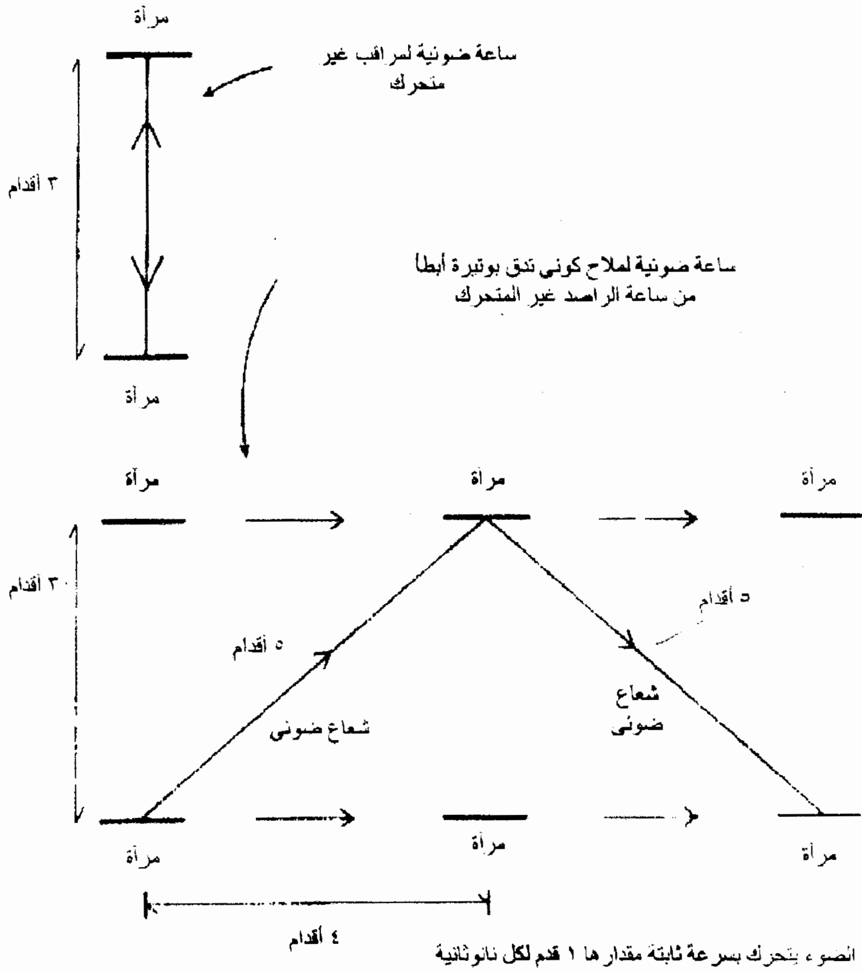
كوننا رباعى الأبعاد، فهناك ثلاثة أبعاد مكانية وبعد زمنى واحد. ولقد اعتقد هـ.ج. ويلز أن البعد الزمنى شأنه شأن أى من الأبعاد المكانية، غير أن الصواب جانبه، فثمة فرق جوهرى بينهما. ولقد انتهى الأمر من الناحية الرياضية إلى أن للبعد الزمنى إشارة سالبة. وهذه الإشارة الصغيرة هى التى تصنع الفرق كله .. إنها تفصل المستقبل عن الماضى، وتتيح "السببية" فى عالمنا، وتصعب سفرنا بحرية عبر الزمن. ولكى نجوس خلال فكرة السفر عبر الزمن لابد لنا من تفهم كيفية ظهور هذه العلامة السالبة، ويستدعى هذا بدوره أن نأخذ فى الاعتبار ما يتفق عليه الراصدون المتحركون ، إذ إن لديهم الكثير الذى يختلفون حوله.

بداية، سوف نقارن ما بين الفواصل فى المكان مع الفواصل فى الزمان، وسنستعمل وحدات ملائمة، فسرعة الضوء تساوى الوحدة، ووحداتنا للمسافة السنة الضوئية وللزمن السنوات. والضوء ينتقل بسرعة سنة ضوئية لكل سنة، ويمكننا بالمثل أن نستعمل وحدتى القدم والنانو ثانية حيث إن الضوء ينتقل بسرعة قدم لكل نانو ثانية. إننا متفقون جميعا على سرعة الضوء، تلك السرعة السحرية التى تيسر لنا أن نوازن بين الفواصل فى المكان والفواصل فى الزمان.

فلنتدبر المثال السابق: يمر بى رائد فضاء سرعته ٨٠٪ من سرعة الضوء، ويرسل إشارتين ضوئيتين إلى مقدمة صاروخه وذيله حيث تنعكسان على مرآتين وترتدان إليه. إن إرسال الإشارتين وتلقيهما بالنسبة لى يفصل بينهما مكانيا ٤٠ قدما ، وزمانيا ٥٠ نانو ثانية. وفى نفس الأثناء فإن رائد الفضاء، الذى يحس بنفسه ساكنا غير متحرك سيرى فاصلا مكانيا بين الحدثين قدره صفر قدما، وفاصلا زمانيا قدره ٣٠ نانو ثانية كما ستبين له ساعاته. وهكذا سنختلف معه فى الفاصل بين الحدثين مكانيا وزمانيا. ولكننا سنتفق على قيمة الفارق بين مربع الفاصل المكانى مطروحا منه مربع الفاصل الزمانى. فلنفترض .

إذا أخذنا مربع الفاصل المكانى الذى نقيسه بالأقدام وطرحنا منه الفاصل الزمانى الذى نقيسه بالنانو ثانية سنحصل على ٢٤٠ - ٢٥٠ = - ٩٠٠ ، وإذا اعتبر هو مربع الفاصل المكانى الذى يقيسه بالقدم وطرح منه مربع الفاصل الزمانى الذى يقيسه بالنانو ثانية فسيحصل على $(٠)^٢ - ٣٠^٢ = - ٩٠٠$.

سيحصل كلانا على نفس النتيجة، إذا كان الناتج سالبا فإننا نقول إن الحدثين بينهما فاصل "زمانى السمة" **"Spacelike Separation"**، فالفاصل بينهما فى الزمان أكبر من الفاصل المكانى بينهما فيكون الفرق سالبا. وعندما تكون النتيجة موجبة سنقول إن الحدثين بينهما فاصل "مكانى السمة" **"Spacelike Separation"**، حيث إن الفاصل المكانى بينهما أكبر من الفاصل الزمانى. وعندما تكون النتيجة صفرا فإننا نقول إن الحدثين بينهما فاصل "ضوئى السمة " **"Lightlike Separation"** إنهما حدثان يمكن توصيلهما بشعاع ضوئى، ويمكن أن يتفق الرائد معى فى أن مثل هذين الحدثين بينهما فاصل متساو فى المكان والزمان. ربما اختلفنا كم يفصلهما من الأقدام والنانو ثانية (سأقول أنا ٥ ويقول هو ١٥) ولكن سيتفق كلانا على أن الرقمين معا متساويان. ويعود هذا إلى أن كلينا - بالرجوع إلى مسلمة أينشتاين الثانية - سنرصد شعاع الضوء الذى يصل بين الحدثين منتقلا بسرعة قدم واحدة لكل نانو ثانية، ويتفق كل الراصدين على مقدار "مربع الفاصل المكانى - مربع الفاصل الزمانى" ، مؤمنين ومتفقين على سرعة الضوء ومقدارها "١" وفقا للوحدات التى طبقناها ، بصرف النظر عن اختلاف أدوات قياس المكان والزمان. وتؤكد العلامة السالبة لنا أن جميع الراصدين سيتفقون على سرعة الضوء.



شكل رقم (٣) اختلاف الساعات الضوئية

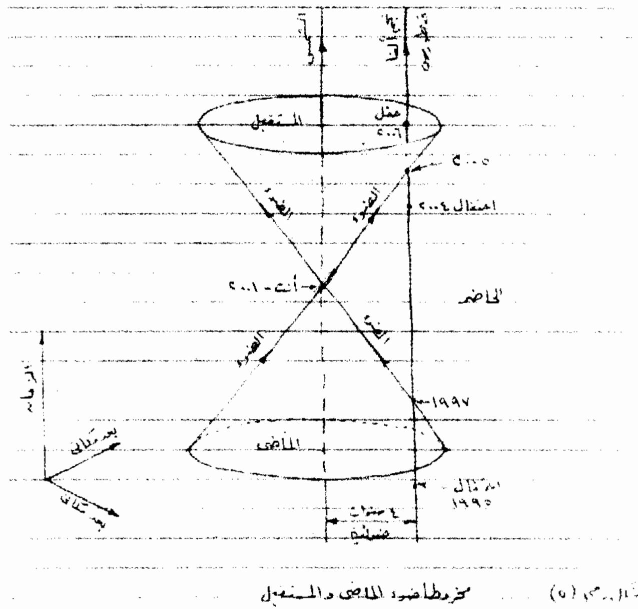
فلنفترض أنك مدعو إلى حفل سيقام بعد ٥ سنوات من الآن على النجم ألفا قنطورس[١] (٥) الذى يبعد أربع سنوات ضوئية. سيتيسر لك الوصول إلى هناك على متن صاروخ يتحرك بسرعة ٨٠٪ من سرعة الضوء، وسيتفق كل الراصدين على أن الحفل فى المستقبل من حيث موقعك فى الوقت الراهن لأنك تخطط الآن لحضوره. أنت هنا الآن يفصلك عن الحفل مسافة ٤ سنوات ضوئية مكانيا، ٥ سنوات زمانيا. وهكذا باستعمالنا وحدتى السنة الضوئية، والسنة سنقيس مربع الفاصل المكانى مطروحا منه مربع الفاصل الزمانى لنحصل على $٤^{٢} - ٥^{٢} = ١٦ - ٢٥ = - ٩$. إن للحفل فاصلا زمانى السمة من وجودك هنا الآن، ومثل هذين الحدثين يمكن وصلهما بمركبة صاروخية تسافر بينهما. ولكن لن يكون بوسعك أن تلحق بمهرجان سيقام على نجم ألفا قنطورس بعد ٣ سنوات من الآن، إذ ليس فى مقدورك الانتقال بسرعة أعلى من سرعة الضوء ولهذا الحدث فاصل فى المكان عن وجودك هنا الآن (لأنه فى حاضرك). إن مربع فاصله المكانى مطروحا منه مربع فاصله الزمانى ذو حاصل موجب $٤^{٢} - ٣^{٢} = ١٦ - ٩ = ٧$). إن راصدا يطير بسرعة ٧٥٪ من سرعة الضوء صوب ألفا قنطورس سيؤكد أن جلوسك على الأرض الآن، والمهرجان المقام على ألفا قنطورس حدثان متزامنان، ولن تتملكه الدهشة لأنك لم تحضر المهرجان، وفيم يعجب والحدثان – فى عرفه – يحصلان فى ذات الوقت!

والآن فلنأخذ حفلا أقيم على ألفا قنطورس منذ ٦ سنوات مضت. إن هذا حدث فى الماضى بالنسبة لك. كان من الممكن لرائد فضاء أن يحضر مثل هذا الحفل ويكون هنا الآن لو أنه سافر من هناك إلى هنا بثلثى سرعة الضوء (إن الحدثين: الاحتفال على قنطورس ووجودك أنت هنا الآن لهما فاصل زمانى السمة، لذا فيمكن للرائد أن يزورك هنا الآن بعد أن يكون قد حضر الحفل من قبل، فالحفل فى الماضى بالنسبة

(١) أقرب نجوم الفضاء إلى شمسنا ويبعد عنها بزهاء ٤ سنوات ضوئية ويقع على خط عرض ٦١° جنوبا إلى الجنوب من برجى الميزان والعقرب – ويطلق عليه أحيانًا الأقرب القنطورى. (المترجم)

لوجـودك هـنا الآن). علـى هذا يمكننا أن نقـسـم كـوننا ذا الأبعـاد الأربعـة إلـى ثلاث مناطق: الماضى - الحاضر - المستقبل.

بمقدورنا تمثيل ذلك فى رسم تخطيطى ذى ثلاثة أبعاد، بعداه الأفقيان مكانيان والبـعد العمـودى يمثل الزمن، بحيث يمثل الاتجاه إلى أعلى المسـتقبل والاتجاه إلى أسفل - الماضى (شكل رقم ٥). إذا اعتبرنا الشمس ثابتة من وجهة نظرنا فسيبدو مسارها عبر الزمكان كخط عالم مستقيم عمودى، كما يمثل نجم ألفا قنطورس بخط عالم رأسى آخر يبعد عن الأول بأربع سنين ضوئية.



شكل رقم (٥) مخروطا ضوء الماضى والمستقبل

ويظهر الشكل موجات ضوئية بثثتها أنت - ولنقل عام ٢٠٠١ - متحركة صوب المستقبل وراسمة ما سنطلق عليه اسم مخروط ضوء الزمن المستقبل Future Light Cone ، فمثلما لاحظ ستيفان هوكنج Stephen Hawking تنتشر هذه الموجات (كما تنتشر مويجات دائرية فى مياه حمام السباحة) بسرعة ١ سنة ضوئية/سنة. إذا أردنا أن نرى كيف يبدو العالم فى حقبة ما، فلنقطع شريحة أفقية من الرسم التخطيطى ذى الأبعاد الثلاثة وننظر فيها. ستتقاطع الشريحة الأفقية مع مخروط ضوء المستقبل فى شكل دائرة، وفى لحظة بذاتها ستبدو موجات الضوء المبثوثة كدائرة محيطة بك. اقتطع شريحة أفقية فى وقت لاحق لتجد دائرة أوسع. وكلما اتجهت إلى أعلى كلما زاد قطر مخروط الضوء أكثر وأكثر. وطالما أن الضوء يتحرك أفقيا ناحية الخارج بمقدار وحدة واحدة (أى سنة ضوئية مقابل كل وحدة زمن نتحركها إلى أعلى)، فإن زاوية رأس المخروط (كما فى الشكل) تساوى ٤٥ درجة. يخترق خط عالم ألفا قنطورس مخروط الضوء هذا فى عام ٢٠٠٥، ويمكن إرسال إشارة إلى أى حدث واقع على مخروط ضوء الزمن المستقبل. سيقام الحفل على نجم ألفا قنطورس بعد ٥ سنوات من ٢٠٠١ أى فى ٢٠٠٦، فهو يقع داخل مخروط ضوء المستقبل، فهذا الحدث بالنسبة لك مستقبلى، ويمكنك الإلمام بالأحداث التى تقع داخل مخروط ضوء المستقبل.

ويبين الشكل بالمثل مخروط ضوء الزمن الماضى، وهو مخروط يتناقص قطر مقطعه، ورأسه حيث أنت - الآن - والأحداث على مخروط ضوء الماضى هى أحداث يمكن رؤيتها اليوم، وهو يتقاطع مع خط عالم نجم ألفا قنطورس منذ ٤ سنين مضت (فى هذه الحالة عام ١٩٩٧). تصل أشعة الضوء التى انبعثت فى ١٩٩٧ من ألفا قنطورس لنا فى ٢٠٠١، حينما تنظر إلى ألفا قنطورس فى الوقت الراهن فإنك تراه كما كان يبدو منذ ٤ سنوات. وكلما أمعنت فى البعد حيث تنظر كلما أوغلت فى الزمن الماضى الذى تشاهده. إن المشهد الذى تراه للكون هو مخروط ضوء الزمن الماضى وكل ما هو داخل مخروط ضوء الماضى هو الآن فى ماضيك. إنه يستوعب الأحداث

التى كان بإمكانك زيارتها (على سبيل المثال فى حالتنا: الاحتفال المقام فى ١٩٩٥ على ألفا قنطورس - فحضوره سيكفل لك وقتا يكفيك للوصول إلى موضعك الحالى على الأرض فى ٢٠٠١). وطالما أن سرعة الضوء فى الفراغ تمثل الحد الأقصى للسرعة فى الكون، فلا يمكن للأحداث خارج مخروط ضوء الماضى أن يكون لها أى أثر عليك، وفيما بين مخروطى ضوء المستقبل والماضى يقع الحاضر. الحاضر الذى يشتمل على الأحداث التى قد يراها شخص يستقل مركبة صاروخية آنية بالنسبة لك - الآن. وذلك المهرجان على ألفا قنطورس فى ٢٠٠٤[1] هو فى حاضرك ، فحتى مع تواجدك ساكنا على سطح الأرض فى عام ٢٠٠١ ، فإنك تعتقد أنه لم يقع بعد، ويعتقد راصدون آخرون أنه يحدث الآن وآنيا معك الآن، فى حين أن آخرين (على متن صواريخ أسرع) يعتقدون أنه قد حدث فعلا قبل وجودك هنا - الآن. وعلى ذلك فإن المهرجان فى نطاق (حاضرك). ولتلاحظ أن "المستقبل" و"الماضى" - كما قمة ساعة الزجاج الرملية وقاعها - قطعتان منفصلتان يتماسان فقط فى حدث مفرد (وجودك هنا الآن) ويدور "الحاضر" حول هذين المخروطين مكونا قطعة واحدة متصلة، يتفق كل الراصدين على النطاق الذى يقع فيه حدث ما (الماضى - الحاضر - المستقبل بالنسبة لوجودك هنا الآن) لأن كل الراصدين يرون الضوء منطلقا بنفس السرعة وكلهم متفقون على أى جانب من كل مخروط ضوء يقبع الحدث.

ولما كنت لا تستطيع أن تسافر بأسرع من سرعة الضوء، فلابد أن يقع خط عالمك المستقبلى بأكمله داخل مخروط ضوء المستقبل. ويستحيل أن يصنع خط عالمك زاوية أكبر من ٤٥ درجة مع العمودى، فذلك يعنى انتقالك بسرعة أكبر من سرعة الضوء. وعلى ذلك فإن خط عالمك سيطرد دوما صوب المستقبل (مثل خط عالم الأرض اللولبى فى شكل ١). وسيمنعك هذا من الالتفاف إلى الخلف إلى الماضى كما يفعل المسافر عبر الزمان فى شكل ٢ وأى خط عالم يتم قطع دائرة كاملة فى الزمكان على ذلك

(١) يفترض الكاتب أن الحاضر هو عام ٢٠٠١ (المترجم).

النحو لابد وأن يرسم زاوية أكبر من ٤٥ درجة من الاتجاه العمودى. ومن ثم فإن السفر عبر الزمن إلى الماضى يقتضى تجاوز سرعة الضوء عند نقطة ما، وهو ما لا تسمح به النسبية الخاصة (وفيما بعد - حين ندرس السفر عبر الزمن إلى الماضى سنناقش وسيلة للتغلب على هذه الصعوبة التى تبدو مستحيلة التخطى).

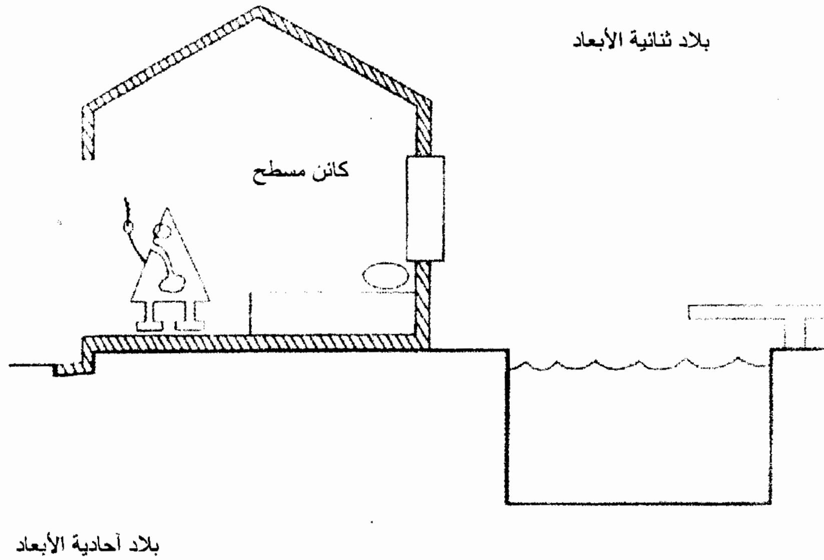
الأرض ثنائية الأبعاد والأرض أحادية الأبعاد Flatland & Lineland

من الطريف أن لدينا ثلاثة أبعاد مكانية وبعدا زمانيا، هل كان من الجائز أن يكون الكون ذا بعدين مكانيين فقط وبعد زمانى واحد؟ إنه عالم البلد المسطح "Flatland"[٦] كما وصفه إدوين أبوت Edwin Abbott فى كتابه "الكون المسطح Planiverse" . تستطيع الكائنات التى تحيا فى ذلك العالم أن تتحرك فى بعدين مكانيين فقط: إلى أعلى وأسفل ، إلى اليمين وإلى اليسار. ستجد كائنات هذه البلاد الحياة مختلفة عنا. هذا الكائن المسطح له فم ومعدة ولكن ليس له قناة هضمية تتخلل جسده (وإلا فإن بدنه عندئذ سينقسم إلى جزءين) (شكل رقم ٦). إن هذه الكائنات المسطحة عليها أن تهضم طعامها، ثم تتقيأ بعد الغداء، ذلك الشذوذ الذى رصده هوكنج فى كتابه "تاريخ موجز للزمن A Brief History of Time". يستطيع الكائن المسطح الرؤية من خلال عين دائرية ذات شبكية بالظهر، ويمكنه أن يقرأ جريدة مدونة فى سطر، عن طريق شفرة مورس المكونة من نقاط وشرط مطبوعة عليها. فى مقدوره أن يكون له منزل ذو باب ونافذة، بل وحتى حمام سباحة فى فناء منزله الخلفى. ولكن عليه كى يصل إلى ذلك الفناء الخلفى أن يصعد فوق سطح منزله. وعليه - كى يستلقى على فراشه أن يهوى على ظهره. وهكذا تتقلص الحياة فى كون ذى بعدين مكانيين وبعد زمانى واحد بأكثر كثيرا مما فى حياتنا.

والحياة فى العالم ذى البعد المكانى الواحد والبعد الزمانى الواحد (العالم الخطى Linelnad)[٧] ستكون بدورها أكثر بساطة، وستكون المخلوقات فى العالم الخطى عبارة

عن أجزاء من خط (انظر أسفل شكل ٦ حيث صور الأشخاص بخط أسمك من الخط الأصلي والأصل نظريا أن تكون كل الخطوط عديمة السمك).

من الجائز وجود ملك وملكة في هذا العالم الخطي، الملك إلى يمين الملكة، ومن الممكن أن يكون هناك أمير إلى يمين الملك وأميرة إلى يسار الملكة. إذا كانت الملكة إلى يسارك، فستبقى دوما إلى يسارك فلا يمكنها مطلقا أن تدور حولك لتتحول إلى جانبك الأيمن. في هذا العالم الخطي سيكون هناك فاصل مطلق بين اليسار واليمين، تماما كذلك الفاصل بين المستقبل والماضي.



شكل رقم (٦) البلاد ثنائية الأبعاد وأحادية الأبعاد

كم من الأبعاد؟

لعل السر فى أن هناك ثلاثة أبعاد مكانية وبعدا زمانيا واحدا يكمن فى عمل الجاذبية. لقد شرح أينشتاين الجاذبية بأن بين كيف تسبب الكتلة انحناء (تقوس) الزمكان. وإذا ما عممنا نظرية أينشتاين فى الجاذبية لتشمل الزمكانات ذات الأبعاد المتنوعة، فإننا سنجد الأشياء ذات الكتل الكبيرة لا يجذب بعضها بعضا فى العالم المسطح. لا وجود للتقارب بالجاذبية على مسافة ما (ليس هناك ما يحافظ على الماء داخل حمام سباحة كائنات العالم المسطح)، وعلى ذلك لا تستطيع الأشياء الكبيرة أن تنسق أجزاءها، ولن تتقدم أو تتطور الحياة الذكية (وبالمثل طبعا تبدو الحياة الذكية مستحيلة فى العالم الخطى). ولكن مع ثلاثة أبعاد مكانية وبعد زمنى واحد، تجد الكواكب لها مدارا مستقرا حول شموسها. ولو أن لدينا أكثر من ثلاثة أبعاد مكانية وبعدا زمنيا واحدا لما استقرت الكواكب فى دورانها بمداراتها حول نجومها، ولنشأت أيضا ظروف غير مواتية لتطور حياة ذكية.

فلنفترض جدلا أن لدينا بعدين زمانيين (جدير بنا أن نذكر هنا أن حكماء الأبوريجينيين [١] القدامى رووا عن زمن ثان - الزمن الحلم)(٨). فى مثل هذه الحال سيكون الكون ذا خمسة أبعاد، وسيكون المقدار الذى يتفق عليه الراصدون المتحركون عبارة عن مجموع مربعات الفواصل فى الأبعاد المكانية الثلاثة، مطروح منه مربع الفاصل فى الزمن (المعتاد) ، ومطروح منه مربع الفاصل فى (الزمن الحلم) (ستكون هناك إشارة سالبة للحد الذى يبين زمن الحلم كذلك) ، ونظرا لاتفاق إشارة الحدين الخاصين بالزمن فيمكننا أن (نستدير) فى المستوى الذى يجمع محورى الزمان والزمن الحلم ، تماما مثلما يمكننا أن نستدير فى مستوى أفقى يسمح أحد محورية بالاتجاه

---

(١) هم السكان الأصليون لقارة أستراليا والجزر القريبة منها، ويكونون الآن ٢,٦٪ من تعدادها ويعيش معظمهم جنوب شرق القارة. (المترجم)

يساراً أو يميناً ، والآخر بالاتجاه إلى الأمام أو إلى الخلف، مما يسهل من السفر عبر الزمن إلى الماضى. فبمقدورك ببساطة أن تزور حدثا وقع فى ماضيك بالسفر، بإدارة خط عالمك، وتوجيهه إلى اتجاه (الزمن الحلم) (دون أن تتجاوز سرعة الضوء مطلقا). وإذا كان الزمن ذا بعد واحد، فلن يكون بمقدورك إلا أن تتجه للإمام، مثلك مثل نملة مقيدة بالسير فى طابور فى خط واحد، ولكن لو كان هناك بعدان زمنيان (الزمن والزمن الحلم) فيمكنك الدوران على عقبيك فى مستوى الزمن - الزمن الحلم وزيارة أى مرحلة زمنية تروق لك، مثلك مثل نملة حرة تسعى أينما شاءت على سطح قطعة من الورق. لن يكون هناك وجود للسببية المعتادة فى مثل هذا العالم. ومن الواضح أننا لا نعيش فى مثله.

ولكن فلنتريث .. ربما كان لكوننا عدد من الأبعاد يتجاوز ما نفكر فيه للوهلة الأولى ، لقد اكتشف "تيودور كالوزا" **Theodor kaluza** فى ١٩١٩ أننا إذا عممنا نظرية أينشتاين عن الجاذبية على عالم ذى أربعة أبعاد مكانية وبعد زمنى واحد لأمكننا أن نحصل على جاذبية أينشتاين المعهودة بالإضافة لمعادلات ماكسويل للديناميكا الكهربية معدلة عن طريق نظرية أينشتاين للنسبية الخاصة. إن الكهرومغناطيسية كانت فقط نتيجة تأثير الجاذبية فى البعد المكانى المضاف. ولكن حيث إننا لا نرى بعدا مكانيا إضافيا، فقد بدا هذا المفهوم جنونيا. لذا، خرج فى عام ١٩٢٦ أوسكار كلاين **Oscar Klein** (وينبغى عدم الخلط بينه وبين فيلكس كلاين **Felix Klein** الذى ابتكر قنينة كلاين وهى نموذج ثلاثى الأبعاد لشريحة موبيوس) [(١)] ، خرج بفكرة أن البعد الإضافى يمكن برمه فى شكل حلزونى مثل ماصة عصير أسطوانية

(١) شريط موبيوس أو شريحة موبيوس: سطح بجانب واحد وبعنصر حدودى واحد. اكتشفه - بشكل مستقل - كل من العالمين الألمانيين فرديناند موبيوس وجون بنديكت ليستنج عام ١٨٥٨ ويمكن صناعته ببساطة بقص ورقة على هيئة شريط ثم إدارة أحد الطرفين ١٨٠ درجة ثم لصق نهايتى الشريط معا. (المترجم) .

دقيقة. فلماصة العصير سطح ذو بعدين ، ويمكنك عمل مثلها بقطع قطعة طويلة من الورق ثم لصق حافتيها اليمنى واليسرى معا مكونا أسطوانة ضيقة. لتحديد موضع نقطة على السطح نحتاج لإحداثيين: الموضع العمودى على طول الأسطوانة، والبعد الزاوى (مقدار الزاوية) حول المحيط. (إن كائنات تعيش على سطح هذه الأسطوانة هى حقا مثال لأناس يعيشون فى كون مسطح) ولكن إذا كان محيط الأسطوانة من الصغر بمكان فيبدو لهم كونهم شبيها بعالم خطى. اقترح كلاين بعدا مكانيا رابعا يمكن أن يفتل ويلولب كهذه الأسطوانة متناهية الصغر (يبلغ محيطها ٨ × ١٠ $^{-٣١}$) بحيث لا يمكن حتى أن نلاحظها.

فى مثل هذا الكون، قد تدور الجسيمات ذات الشحنة الموجبة كالبروتونات حول الأنبوبة فى عكس حركة عقارب الساعة، فى حين تدور الجسيمات ذات الشحنة السالبة كالإلكترونات فى اتجاه حركة عقارب الساعة بينما لا تدور الجسيمات المحايدة غير ذات الشحنة كالنيوترون. ولا تسمح الطبيعة الموجية للجسيمات إلا بعدد صحيح من الأطوال الموجية (١، ٢، ٣، ٤، .. الخ) للدوران حول محيط الأنبوبة الدقيق. وعلى ذلك ستكون مقادير الشحنات مضاعفات لقيمة وحدة الشحنات التى يحملها البروتون والإلكترون.

وحدت نظرية كالوزا - كلاين قوى الجاذبية والكهرومغناطيسية، وشرحت كليهما فى ضوء انحناء الزمكان، قاطعة خطوة نحو هدف أينشتاين (نظرية المجال الموحد العظمى)[١] لشرح كل القوى فى الكون. على أن نظرية كالوزا كلاين لم تقدم أية تنبؤات جديدة عن الظواهر الواجب التحقق منها بالتجارب العملية، ولهذا عفى عليها الزمن وقبعت فى طى النسيان. بيد أن نظرية الأوتار الفائقة **Superstring Theory**[٢]

(١) محاولة لدمج القوى النووية الشديدة والضعيفة فى نظرية مفردة واحدة لاقت نجاحا جزئيا. (المترجم)

(٢) نظرية تحاول توحيد قوى الجسيمات والقوى الرئيسية فى الطبيعة باعتبارها جميعا اهتزازات لأوتار فائقة الدقة والتماثل. (المترجم).

قد بعثت من جديد فكرة البعد الإضافى إلى الحياة مؤخرا، فهى تفترض أن الجسيمات الأساسية كالإلكترونات والكواركات[١] هى فى الحقيقة عبارة عن حلقات دقيقة من وتر يبلغ طول محيطه ١٠ $^{-٣١}$ من السنتيمتر. وتقترح نظرية الأوتار الفائقة (أو نظرية **M** كما يطلق عليها أحيانا) أن لكوننا فى الواقع ١١ بعدا، منها بعد عيانى واحد للزمن وثلاثة أبعاد عيانية للمكان وسبعة أبعاد ملولبة (أى معقوصة أو ملتوية **Curled up**) للمكان طول محيطها فى نطاق ١٠ $^{-٣١}$ سنتميتر. ويمكن أن يفسر أحد هذه الأبعاد الأخرى القوى النووية الضعيفة والشديدة المسئولة عن بعض أنواع انحلال النشاط الإشعاعى وعن تماسك نواة الذرة. وتماما كما أن كل موضع بطول البعد الرأسى للأنبوبة الدقيقة ليس بنقطة، ولكنه بمثابة دائرة بالغة الدقة، كذلك فإن كل موضع فى فضائنا الكونى لا يمثل نقطة، وإنما يمثل حيزا معقدا بالغ الدقة، ذا سبعة أبعاد يبلغ طول محيطه ١٠ $^{-٣١}$ من السنتيمترات. ويحدد الشكل المضبوط لهذا الحيز (وما إذا كان كرة ذات أبعاد أكبر، أو فى هيئة الدونتس[٢] أو البريتسل[٣] يحدد الطبيعة الفيزيائية للجسيم الذى نرصده.

ربما كانت الأبعاد المكانية الثلاثة التى نألفها اليوم ذات مقاييس ميكروسكوبية فى مرحلة نشأة كوننا المبكرة. ومنذ ذلك الحين أخذت قيمها فى الازدياد الهائل، ومازالت حتى يومنا هذا، وهو ما يفسر لنا ما نرصده من تمدد الكون. ولكن لماذا تمددت ثلاثة أبعاد مكانية فقط دون أن تتمدد الأبعاد السبعة الملولبة الدقيقة؟ لقد شرح بريان جرين **Brian Greene** فى كتابه عام ١٩٩٩ "الكون الأنيق **The Elegant**

---

(١) فى فيزياء الجسيمات الكوارك هو جسيم أولى وأحد المكونين الأساسيين للمادة. يوجد منه ٦ أنواع ولا يوجد منفردا. تجتمع ٣ كواركات لتشكل البروتون أو النيوترون. (المترجم)

(٢) الدونت doughnut كعكة محلاة حلقية الشكل. (المترجم)

(٣) البريتسل Pretzel بسكويتة قاسية مملحة على شكل عقدة أو عصاة عادة. (المترجم)

"Universe" كيف اقترح الفيزيائى روبرت براندنبرج (من جامعة براون)، والفيزيائى كومرون فافا (من هارفارد) أن الأبعاد السبعة الملولبة تبقى على مقاساتها الدقيقة لأنها ملتفة مع حلقات الوتر الكونى (كما يلتف شريط من المطاط حول الأنبوبة الدقيقة). واقترح براند نبرج وفافا سيناريو تتسبب بموجبه التصادمات بين حلقات الوترالكونى فى أن تتحرر ثلاثة أبعاد مكانية من التفافها حوله، مما يسمح لها بالتمدد إلى حجم أكبر. وإذا زاد أو قل عدد الأبعاد المكانية المسموح لها بالتمدد فإن هذا من شأنه أن يولد أكوانا عيانية أحادية الأبعاد أو ثنائية الأبعاد وحتى ذات أبعاد مكانية تتراوح بين ٤ ، ١٠ ، ولكل قوانينه الخاصة به فى مجال الفيزياء الميكروسكوبية.

فى ظل هذا الاتساق الموحد بين الأكوان، فإننا نتوقع أن نجد أنفسنا فى كون يمكن للحياة الذكية أن تزدهر فيه، تماما مثلما نلفى أنفسنا نحيا على سطح كوكب صالح للسكنى فى حين لا تصلح كواكب أخرى لذلك. إن هذا الجدل الذى أسماه الفيزيائى البريطانى براندون كارتر المبدأ الإنسانى القوى Strong Anthropic Principle[1] هو جدل مترابط ذاتيا. ما دمت راصدا ذكيا ، فإن قوانين الفيزياء فى كونك ستسمح على الأقل للراصدين الأذكياء أن يتقدموا. وسنجد أنفسنا كراصدين أذكياء - بطبيعة الحال فى كون ذى ثلاثة أبعاد عيانية مكانية، ولكن هذا لا يمنع وجود أكوان ذات بعد واحد أو بعدين أو ذات أبعاد مكانية أكثر من ٣ فى مكان ما خارج نطاق إدراكنا.

وقد جرت مناقشات حتى عن أن واحدا من هذه الأبعاد المكانية الملولبة التى تقترحها نظرية الأوتار الفائقة ربما كان زمانى السمة كالزمن الحلم. ترى كيف سيبدو

(١) المبدأ البشرى Anthropic Principle يقول إن النوع الوحيد من الأكوان الذى يصلح لحياة البشر هو ذلك المشابه لكوننا، فهو يدعم الحياة بخلق توازن دقيق فى تركيبه ابتداء من نواة الذرة حتى إلى الكون الكبير وهو ما لا يتوافر إلا فى كوننا. (المترجم).

البعد الزمنى الإضافى الدائرى. إذا ما مضيت فى بعد الزمن الحلم فإنك ستواصل العودة إلى الزمن الذى بدأت فيه كما فعلت شخصية بيل موراى فى العرض السينمائى يوم جرز الأرض[1][2] **Groundhog Day** الذى ظل يعيش حياة يوم بعينه مرارا وتكرارا. إن المستوى المحتوى على محورى الزمن - الزمن الحلم يشبه أنبوبا ضيقا يمضى الزمن المعتاد بامتداده، بينما يلتف حوله الزمن الحلم. ويبلغ طول محيط الزمن الحلم نحو ٥ × ١٠ -٤٤ ثانية، وتماما مثلما تزحف نملة على طول الأنبوب الضيق، ثم تعكس اتجاه حركتها بالدوران فى بعد الأنبوب الضيق، فإن جسيما أوليا **Elementary** يمكنه أن يعكس حركته فى الزمن المعتاد ليعود أدراجه صوب الماضى مستفيدا من اتجاه الزمن الحلم ليجرى هذا العكس للحركة. حقا، وكما سأناقش فيما يلى يمكن للمرء أن يعتبر البوزيترون إلكترونا ماضيا إلى الخلف زمانيا. وهذه هى الآلية التى افترضت واستعملت فى العرض السينمائى **Frequency** عام ٢٠٠٠ ، حيث يرسل ابن إشارات - فوتونات موجة راديو - إلى الماضى لينقذ أباه (ويظهر فى الفيلم الفيزيائى البريطانى بريان جرين ليعلق على النواحى الفيزيائية فيه). ولابد أن أؤكد على أية حال - أن فكرة أن أحد الأبعاد الإضافية الملولبة يجوز أن يكون زمانى السمة (مثل الزمن الحلم) ليست هى الحالة النمطية.

تقترح نظرية الأوتار الفائقة - فى صياغتها القياسية - أن الأكوان المختلفة ربما تواجدت بأعداد مختلفة من الأبعاد المكانية الماكروسكوبية (العيانية) حتى ١٠ أكوان، ولكنها تؤكد على أنه يوجد دائما بعد زمنى واحد. إنه البعد الوحيد الموسوم

---

(١) فيلم كوميدى أنتج عام ١٩٩٣ بطولة بيل موراى وآندى ماكدويل عن قصة لدانى روبين. (المترجم).

(٢) جرز الأرض هو قارض من فصيلة السنجابيات ينتشر فى شمال أمريكا وشمال شرقها ووسطها، ويوم جرز الأرض يوافق ٢ فبراير وهو يوم إجازة سنوى فى الولايات المتحدة وكندا حيث إنه ينبئ - استنادا إلى فولكلور قديم - عن قرب انتهاء الشتاء أو امتداده لستة أسابيع أخرى بناء على ظهور جرز الأرض بعد اختفائه طيلة بياته الشتوى. (المترجم).

بالاختلاف والبعد الوحيد ذو العلامة السالبة. لذا يبدو الزمن فريدا فى قوانين الفيزياء، ومن ثم - وكما شرح أينشتاين - يبدو كذلك متفردا فى مفارقاته وتناقضاته.

مفارقة التوأم

أقصر مسافة بين نقطتين فى الفراغ هى الخط المستقيم. إذا عرجت وأنت فى طريقك إلى حفل على صديق لزيارته، فسيسجل عداد سيارتك مسافة أطول مما سيسجلها لو أنك توجهت للحفل مباشرة. على أنه بسبب الإشارة السالبة التى تسبق البعد الزمنى، فإن الموقف يختلف عند السفر بين حدثين بينهما فاصل زمنى. فلو أنك دعيت إلى حفل يقام على الأرض بعد ١٠ سنوات من الآن، فالسبيل المباشر لحضوره هو البقاء بمنزلك على الأرض والانتظار حتى تتم ساعتك دقاتها لمدة ١٠ سنوات. ولكن إذا قررت أن تقوم بتحويلة غير مباشرة، ومرقت سريعا إلى نجم ألفا قنطورس فى طريقك إلى الحفل، فستحرك ساعتك الضوئية أماما وخلفا (إلى ألفا قنطورس والعودة منه) مطيلا المسافة التى على أشعتها الضوئية أن تقطعها، وبالتالى ستجعلها تدق أقل. ولأن للمكان والزمان إشارتين مختلفتين، فإن المسافة الإضافية التى ستقطع فى الفضاء فى الطريق إلى الحفل تعنى زمنا أقل ينقضى على ساعتك، وسيتباطأ مرور العمر بك، وهو ما يقودنا إلى لغز التوأم الشهير، وهو المدخل إلى السفر عبر الزمن إلى المستقبل.

افترض أن لدينا شقيقتين توأم: إيرثا وأسترا[1] تمكث إيرثا على الأرض فى حين تسافر أسترا على متن صاروخ يتحرك بسرعة ٨٠٪ من سرعة الضوء إلى نجم ألفا قنطورس. وحيث إن هذا النجم على بعد ٤ سنوات ضوئية فستستغرق رحلة

(١) إيرثا نسبة إلى الأرض Earth وأسترا نسبة إلى نجوم الفضاء Stars (المترجم).

أسترا إليه خمس سنوات (أرضية). سترى إيرثا ساعة أسترا تتباطأ دقاتها، فتدق بمعدل ٦٠٪ من معدل دقات ساعتها، أى أن أسترا ستكبر فى السن بمقدار ٣ أعوام فقط خلال الرحلة. ستستدير أسترا عندما تصل إلى ألفا قنطورس عائدة إلى الأرض بسرعة ٨٠٪ من سرعة الضوء كما يقيسها الراصدون على سطح الأرض وستستغرق رحلة العودة ٥ أعوام أرضية أخرى، فتكون إيرثا قد تقدمت فى العمر ١٠ سنوات حين تصل أسترا. وفى رحلة العودة سترى إيرثا ثانية كيف تدق ساعة أسترا. وهكذا فعند عودتها ستكون أسترا قد تقدمت فى عمرها ست سنوات على حين تقدم العمر بإيرثا عشر سنوات. لقد سافرت أسترا عبر الزمن إلى المستقبل لأربع سنوات.

وها هنا المفارقة: ستقول أسترا - وفقا لأرصادها هى - إن إيرثا هى التى كانت تتحرك بسرعة ٨٠٪ من سرعة الضوء، وليست هى، وبالتالى فإنها تتوقع أن تكون إيرثا هى الأصغر سنا عندما تلتقيان ثانية. ولكن هنا تكمن المغالطة فى هذا اللغز: إن التوأمتين لم تمرا بنفس الظروف المتكافئة. فإيرثا التى مكثت على الأرض هى راصد يتحرك بسرعة منتظمة دون أن تغير اتجاهها (طبعا بإهمال السرعة الضئيلة نسبيا التى تدور بها الأرض حول الشمس). فإيرثا - تبعا لذلك تنطبق عليها مسلمة أينشتاين الأولى. أما أسترا فليست راصدا يتحرك بسرعة منتظمة دون تغيير اتجاهه، وإنما هى تغير اتجاهها، فعند بلوغها ألفا قنطورس، ولكى تدور ثانية ميممة شطر الأرض، لابد لها من تخفيض سرعتها من ٨٠٪ من سرعة الضوء إلى الصفر، ثم التسارع ثانية للوصول إلى ٨٠٪ من سرعة الضوء، ولكن فى عكس الاتجاه. إن خط عالم أسترا منحن، فى حين أن خط عالم إيرثا محض خط مستقيم. فأسترا ، الراصد الذى يزيد من سرعته وينقصها لا تنطبق عليه مسلمة أينشتاين الأولى، فعندما تكبح أسترا سرعة صاروخها وتهبط بها إلى الصفر وتعكس اتجاهه لدى وصولها للألفا قنطورس، فإن كل حاجياتها سوف تتطاير فى فضاء الصاروخ - ما لم تكن مثبتة - وترتطم بجداره البعيد عن كوكب الأرض وتتحطم مقتنياتها (فى الواقع إن

التسارع من القوة بحيث يمكن - عمليا - أن يقتلها، ولكن هب أنها - بغرض إتمام مناقشتنا - رزقت بنية قوية تعينها على تحمل ذلك). وستدرك أسترا من كل ذلك أنها فى طريقها للعودة.

عندما رحلت أسترا مبتعدة عن الأرض بسرعة ٨٠٪ من سرعة الضوء، وقبل أن تستدير فى طريق عودتها، ستحس بنفسها فى حالة سكون. صحيح أنها سترى ساعة إيرثا تدق بإيقاع أبطأ من ساعتها ، ولدى وصولها لألفا قنطورس (وقد زاد من عمرها ٣ سنوات) ستظن أن إيرثا قد تقدمت فى السن بمقدار ١,٨ سنة وهى على الأرض. وتحسب أسترا أن وصولها إلى ألفا قنطورس وتقدم إيرثا فى العمر على الأرض بمقدار ١,٨ سنة حدثان متلازمان يمكن توصيلهما عند قطع الزمكان قطريا بميل (كشريحة الخبز الفرنسى). وهذه الشريحة مائلة؛ لأن أسترا متحركة (تماما كما فى شكل ٤ الذى يظهر فيه خط ١٥ ن ث/ز ر مائلا؛ لأن رائد الفضاء كان متحركا).

ولنتذكر: ستختلف إيرثا وأسترا فيما إذا كان شعاعا الضوء اللذان أطلقتهما أسترا سيصلان متزامنين لمقدمة الصاروخ وذيله، كما ستختلفان كذلك على مدى تزامن الأحداث التى بينها فاصل شاسع. وعلى ذلك فقبل وصول أسترا مباشرة إلى ألفا قنطورس ستظن كل من الشقيقتين أن توأمتها قد تقدمت فى السن لمدة أقل.

ولكن افترض أن أسترا قد عكست اتجاه حركتها وبدأت فى "قطع" الزمكان بزاوية ميل أخرى، متجهة ناحية الأرض بسرعة تساوى ٨٠٪ من سرعة الضوء. إنها تعتقد أن مغادرتها لألفا قنطورس متزامنة مع مرور ٨,٢ سنة على إيرثا فوق سطح الأرض منذ البداية. وفى رحلة العودة وبسرعتها المنتظمة ستفطن أسترا إلى أن إيرثا قد تقدمت فى السن بمقدار ١,٨ سنة (الفارق من ٨,٢ إلى ١٠ سنوات). وخلال تلك الفترة ستهرم أسترا ثلاث سنوات أخرى بما يجعلها أكبر بست سنوات لدى عودتها. تلاحظ "أسترا" أن "إيرثا" قد هرمت ١٠ سنوات مقارنة بسنواتها الست. ليس هناك تناقض. إن فكرة أسترا عن تزامن وقوع الأحداث على الأرض ستتغير جذريا عندما

تدور حول الألفا قنطورس. فحركتها تتسارع فى حين لا تتسارع حركة إيرثا، وهى تعكس اتجاهها. وهو ما لا يحدث لإيرثا.

إن الشقيقة التى تتسارع حركتها هى التى تتباطأ دقات ساعتها. وفى هذه الحالة فإن خط مسار إيرثا يأخذ شكل خط مستقيم، أقصر الخطوط، إنه مسار "كسول". أما الشقيقة التى بذلت مجهودا أشق، فإنها أبطأ فى مسيرها إلى الشيخوخة. ألا يشبه ذلك القول بأن ممارسة التمارين هى الأفضل للحفاظ على الشباب! إن ساعة أسترا الضوئية تتحرك جيئة وذهابا، مطيلة من المسافة التى على أشعة الضوء أن تقطعها ومن ثم مبطئة من دقات ساعتها.

للنسبية الخاصة العديد من النتائج التى تبدو متناقضة فى أساسها ، ولكن التمعن الدقيق يكشف عن أن هذه التناقضات يمكن تحليلها. وفى حالتنا هذه، عندما تلتقى الشقيقتان، ستتفقان على أن "أسترا" أقل تقدما فى العمر. إن كون أينشتاين ليس بكون المنطق العام الذى يتبادر إلى ذهننا، ولكنه الكون الذى تعيش فيه فعلا.

إنما يتيح لك تناقض التوأمتين إمكانية السفر إلى المستقبل.

لديك آلة زمان .. وأنت فى بيتك (آلة زمان لمن لا يرغب أن يبرح بيته)

فى قصة هـ.ج. ويلز "آلة الزمن" لم يصعد المسافر عبر الزمن على متن صاروخ فيشعل وقوده وينطلق بين النجوم، وإنما سافر إلى المستقبل بمجرد الجلوس داخل آلة زمانه دون أن يبرح منزله. إن مثل هذه الآلة أيضا ممكنة. بادئ ذى بدء ، فكك كوكب المشترى ، واستعمل مادته لتشيد حول نفسك قشرة كروية بالغة الكثافة بما يفوق التصور وذات قطر يزيد قليلا عن القطر الحرج الذى تحتاجه هذه الكتلة من المادة كى تنهار فى صورة ثقب أسود[١](لقشرة كروية لها كتلة المشترى، يصل هذا القطر إلى

(١) جسم فلكى عالى الجاذبية جدا بحيث لا يفلت منه حتى الضوء. (المترجم)

٥,٦٤ من المتر [١] وهو ما يتيح لك الجلوس فى حجرة مريحة. من الطريف أن نيوتن قد بين كيف أن قشرة كروية من المادة لن تؤثر جاذبيتها على من يجلس بداخلها، وهى نفس النتيجة التى تصل إليها نظرية أينشتاين للجاذبية هى الأخرى. فمادة القشرة تحيط بك من كل الجهات وبالتالى تعمل قوى جذب أجزائها المختلفة فى مختلف الاتجاهات بحيث تعادل بعضها البعض بالضبط، وتنعدم محصلة تأثيرها تماما. لذا، ورغم كتلة القشرة الضخمة، فإن تواجدك بداخلها يضمن لك الأمان، إذ يبطل مفعول الجاذبية عليك وينجيك من شر التمزق إربا إربا لو أنك جلست خارجها أو بالقرب منها (نتيجة القوى المدية Tidal[٢] العارمة التى تولدها الجاذبية). وفى نظرية أينشتاين للجاذبية تنتج القوى المدية بتقوس الزمكان وانحنائه وانفتاله Warping. وخارج آلة الزمن ينحنى الزمكان ويتقوس بشكل دراماتيكى، أما بداخلها - حيث لا قوى - فإنه يكون مستويا (شكل رقم ٧). وفى هذا الرسم التخطيطى اكتفينا بتمثيل بعدين مكانيين مقوسين بدلا من ثلاثة، ولذا فإن القشرة الكروية التى تحيط بك تمثلها دائرة. وحتى يصل الشخص إلى داخل آلة الزمن دون التعرض لخطر الموت، فلابد له من بناء قشرة كروية هائلة الضخامة (تضاهى فى حجمها كوكب المشترى) فى بطء وتوءدة حتى يقلل إلى الحد الأدنى - من تأثير القوى المدية عليه خلال عملية البناء هذه. وبعد إتمام البناء يعدل المرء من مقدار القوى المؤثرة على القشرة بحيث تنضغط - برفق - من حوله.

كيف يمكن لمثل هذه الآلة أن تأخذك إلى المستقبل؟ شرح أينشتاين فى عام ١٩٠٥ كيف أن للفوتونات (جسيمات الضوء) طاقات تتناسب عكسيا مع أطوالها الموجية ، فالفوتونات ذات الطول الموجى القصير (كالأشعة السينية) تكدس حزمة من

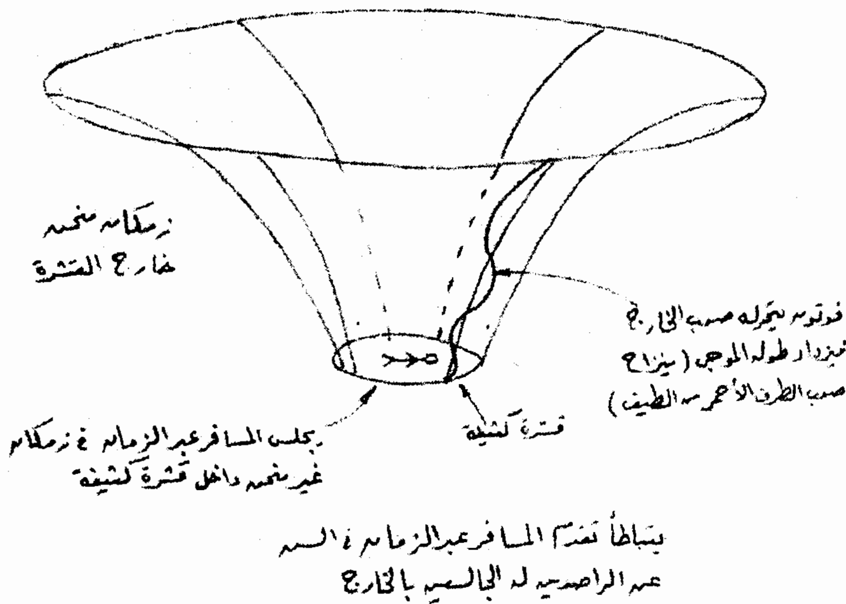
(١) تطلق تسمية نصف قطر شفارتزفيلد على نصف القطر الذى لو انضغط إليه - فرضا - الجسم الكروى مع احتفاظه بنفس كتلته لبلغت سرعة الإفلات من على سطحه سرعة الضوء. (المترجم).

(٢) التأثير المدى هو التغير الذى يطرأ على المجال من مكان لمكان. (المترجم).

الطاقة ، فى حين أن الفوتونات ذات الموجة الطويلة (مثل موجات الراديو) تحمل القليل من الطاقة. وبداخل القشرة الكروية يغدو المرء وكأنه طفل حوصر فى قاع بئر (انظر ثانية شكل ٧). تصور أنك وضعت حلقة معدنية ثقيلة فوق لوح مرن من المطاط سينسحب لوح المطاط إلى الداخل وإلى أسفل متخذا الهيئة المبينة بالشكل. بمقدور النمل أن يمرح على السطح المطاطى المستوى فى داخل الحلقة ، ولكن لو أراد الخروج فإن عليه أن ينفق طاقة فى تسلق السطح المطاطى المتقوس خارجها. وبالمثل فالمرء فى أمان طالما هو فى "قاع" بئر الجاذبية، ولكن التسلق إلى أعلى والابتعاد لمسافة كبيرة بعيدا عن القشرة يتطلب الكثير من الطاقة لأنه سيجاهد فى عكس اتجاه قوى جذب القشرة طوال الطريق.

إذا أطلقت فوتونا داخل هذه القشرة ومرق خلال كوة فى جدارها، فسيفقد طاقته خلال تسلقه إلى أعلى للخروج من بئر الجاذبية. سيرى الراصدون عن بعد أن للفوتون طاقة أقل ولذا، وطبقا لبحث أينشتاين فى ١٩٠٥ سيكون له طول موجى أطول عندما يتعقبونه. لقد انزاح الفوتون صوب الناحية الحمراء من الطيف **Redshifted**ذات الطول الموجى الأكبر. فلنفترض أنك صنعت ساعة ذات دائرة كهربائية ترددها بليون مرة فى الثانية. سيولد ذلك موجة كهرومغناطيسية متذبذبة يبلغ ترددها **Frequency** مليون ذبذبة فى الثانية ، وطالما أن سرعتها ١ قدم لكل نانو ثانية فإن طول هذه الموجة يبلغ قدما واحدا، ويمثل كل طول موجى إضافى يصدر من الساعة، دقة واحدة لها، أى أن الساعة ستدق بمعدل دقة كل نانو ثانية. إذا تحركت هذه الموجة الكهرومغناطيسية إلى الخارج، فإن عليها أن تتسلق إلى أعلى مغالبة قوة الجذب للخروج من بئر الجاذبية الذى ولدته القشرة الكروية. وتستهلك عملية التسلق هذه طاقة، وعلى ذلك فإن كل فوتون أو حزمة من الطاقة الكهرومغناطيسية ينفق طاقة عند رحيله إلى الخارج. فإذا كان قطر القشرة الكروية يزيد بنسبة ٦,٦٧٪ فقط عن القطر اللازم لتكون ثقب أسود (وهو فى حالتنا ٦ أمتار)، فإن كل فوتون سيفقد ثلاثة أرباع طاقته فى سبيل الخروج. وسيجد الراصدون عن بعد أن لكل فوتون ربع الطاقة التى قد كانت له عند انبعاثه، مما

يعنى أن طوله الموجى قد تضاعف ٤ مرات، أى أن الراصدين عن بعد سيجدون للفوتونات وهى تمر بهم طولا موجيا قدره ٤ أقدام. وحيث إن الفوتونات تمر بهم بسرعة الضوء (١ قدم لكل نانو ثانية) فإن الطول الموجى الواحد سيستغرق مروره ٤ نانو ثانية، وبالتبعية سيرون ساعة المسافر عبر الزمن وهى تدق مرة كل ٤ نانو ثانية أى بربع المعدل الذى يحسه المسافر نفسه، وسيرونه يتقدم فى العمر بربع المعدل المعتاد، فبعد مراقبته لمدة ٢٠٠ عام سيرون أن المسافر عبر الزمان لم يتقدم فى العمر سوى ٥٠ عاما.



شكل رقم (٧) آلة زمان لزيارة المستقبل

ولكن .. ماذا عن مشاهدات المسافر عبر الزمن نفسه؟ إن الفوتونات التى يطلقها الراصدون عن بعد تسقط على قشرته الكروية، ملتقطة طاقة عند سقوطها مثلها مثل أى جسم ساقط. وحينما ترتطم هذه الفوتونات بنافذة القشرة وتدخلها، سيكون لها ٤ أضعاف كمية الطاقة التى كانت لها حينما انبعثت، وإذا كان طولها الموجى حين انبعاثها قدما واحدة، فإن المسافر عبر الزمن سيرصد لها طولا قدره ١/٤ قدم ويشاهدها تتذبذب مرة كل ٤/١ نانو ثانية عند مرورها به وليس بمعدل مرة كل نانو ثانية الذى كانت عليه عند انبعاثها، وعلى ذلك سيرصد المسافر عبر الزمن ساعات الراصدين عن بعد وهى تدق بأربعة أضعاف السرعة. سيشاهد المسافر عبر الزمن تاريخ الكون الخارجى عنه وهو يمرق أمام عينيه بأربعة أضعاف المعدل المعتاد، وكأنه شريط عرض سينمائى ضوعفت سرعة عرضه ٤ مرات (إن إذاعة أخبار يوم جديد ستتكرر كل ٦ ساعات بالنسبة للمسافر عبر الزمن).

سيتفق كل من المسافر وراصديه عن بعد على أن تقدمه فى السن قد تباطأ بمعدل أربعة أضعاف معدل الراصدين البعيدين بالخارج. ومثلما نوه رائد الفضاء توماس جولد **Thomas Gold** (من كورنيل) يختلف معدل التقدم فى السن للمسافر عبر الزمن عن الراصدين الخارجيين؛ لأن مواقفهم جد مختلفة. فالمسافر عبر الزمن قابع فى أعماق (بئر) الجاذبية، وهو ما لا يحدث لهم.

يشبه منظور المسافر عبر الزمن ما وصفه هـ.ج. ويلز: سيرى شمعة خارج آلة زمنه تحترق بسرعة، وإن كانت تبدو لناظره متوهجة ذات لون أبيض ضارب إلى الزرقة ، لا لون أحمر ، فالفوتونات المتساقطة داخل آلة الزمن منزاحة ناحية الجانب الأزرق من الطيف الضوئى، أى ناحية الطول الموجى الأقصر. وفى الحقيقة فإن كثيرا من الفوتونات المنبعثة من الشمعة ستنزاح إلى النطاق فوق البنفسجى من الطيف.

بعد ما يتقدم به العمر لخمسين عاما، سيمد المسافر عبر الزمن القشرة الكروية التى تحيطه إلى حجم أكبر ثم يفككها. وسيغادر آلة الزمن وقد زاد عمره خمسين عاما، مقارنة بمائتى عام مرت خارجها. (لاحظ أن آلة زمن من هذا الطراز ذات كتلة

تعادل ضعف كتلة الشمس، وقطر ١٢,٦ كيلومتر ستكون أسهل فى كبسها، ومن ثم فهى أيسر فى بنائها من وجهة النظر العملية).

إذا راق لك أن تسافر بمعدل أسرع إلى المستقبل، فقلص قليلا من حجم كرتك، مقربا إياه أكثر إلى الحجم الحرج اللازم لتكوين ثقب أسود. بيد أن هناك حدا لذلك. فقد شرح الفيزيائيون آلان لايتمان، وبيل بريس، وريتشارد برايس وساول تويكولسكى فى كتابهم عام ١٩٧٥ والمحتوى على مسائل فى النسبية، أن الصعوبة تكمن فى أنه حتى مع أمتن المواد التى يمكن استعمالها لبناء القشرة المطلوبة، فهناك حد لصغر القشرة المصنعة يبقى على متانتها، ويمنع تهشمها، فينبغى أن يكون للقشرة قطر يزيد بمقدار ٤٪ على الأقل عن القطر المناظر لتكون ثقب أسود. وفى هذه الحالة ستتباطأ شيخوخة المسافر عبر الزمان لتكون خمس معدل شيخوخة هؤلاء الراصدين خارج آلته. ومن ثم فهناك حد أقصى للسرعة التى يمكن أن ينطلق بها المسافر عبر الزمان إلى المستقبل فى هذه الآلة الفريدة من نوعها (الحد الذى يناظر مرور ٥ سنوات على الأرض مقابل سنة واحدة على الآلة) وليس من المحبذ أن تدنو مليا من هذا الحد من السرعة، فلو انهارت قشرتك الكروية لتكون ثقب أسود ، ستتقلص القشرة إلى حيز أضأل من نواة الذرة، معتصرة إياك بلا رحمة فى داخلها. لهذا فلا غبار على هذا النوع من آلات الزمن ما لم يطب لك أن تغادر منظومتنا الشمسية، وكنت تواقا بصفة خاصة للاطلاع على ما ستكون عليه الأحوال بعد قرنين من الزمن مستقبلا، وكنت راغبا فى الانتظار ٥٠ عاما لترى ما ستؤول إليه الأمور.

إن قوى التنافر بين الشحنات المتشابهة والمتولدة فى الكهرباء الاستاتيكية يمكنها أن تبقى على قشرة من المادة ذات نصف قطر قريب من نصف القطر الحرج، مما يسمح بسرعة أعلى للسفر إلى المستقبل على أن كتلة الآلة فى هذه الحالة ينبغى أن تصل إلى أكثر من ٢٠ ضعفا من كتلة الشمس (وإلا فإن المجالات الكهربائية الهائلة المتولدة خارج الكرة ستخلق أزواجا من الإلكترونات والبوزيترونات من شأنها أن تستنزف الشحنة وتكرس لانهيار القشرة). وهل يمكن وضع مثل هذه القشرة بكتلتها

الهائلة تلك بالمنظومة الشمسية بدون التسبب فى دمار كارثى! علاوة على ذلك فإن الزمن فى هذه الحالة سيمر متباطئا بمجرد أن تتجول - ببساطة - خارج الثقب الأسود. على أن الثقب الأسود ذاته لابد أن يكون هائل الحجم لكى يسمح لك بالبقاء على قيد الحياة ، فهل يمكن أن تستوعب منظومتنا الشمسية ذلك بداخلها؟ من الواضح أنه يمكنك أن تزور المستقبل وأنت داخل بيتك ، ولكن الأيسر أن تنجز ذلك بالسفر عبر الفضاء.

المسافرون عبر الزمان اليوم

هناك قول فى كتاب "طاوتى شنج"(١) يعود إلى **Lao-Tzu** نصه "إن طريق الألف ميل لابد وأن يبدأ بخطوة واحدة". إن أول طيران فى الفضاء للأخوين رايت لم يستمر لمسافة أكثر من ١٢٠ قدما، وينبغى أن نتحقق من أن لدينا فيما بيننا حتى اليوم مسافرين عبر الزمن، لقد خطوا فعلا الخطوة الأولى.

يحدث لرواد الفضاء ظاهرة تباطؤ الزمن أقل قليلا من بقية الناس. لقد قضى رائد الفضاء الروسى سيرجى أندييف مدة ٧٤٨ يوما وهو يدور فى ثلاث رحلات فضائية، ومن ثم فقد صغر عمره بنحو ١/٥٠ ثانية عن العمر الذين كان سيبلغه لو لم يقم بهذه الرحلات. وقد نجم هذا من تضافر ظاهرتين: الأولى هى أن الساعة المستقرة دون حركة بالنسبة للأرض وعلى ارتفاع المحطة الفضائية "مير **MIR**" ستدق بمعدل أسرع بمقدار يسير من ساعة موجودة على سطح الأرض، وذلك لأن محطة مير فى مستوى أعلى فيما يخص بئر الجاذبية.

---

(١) طاوتى شنج نص صينى كلاسيكى يتكون اسمه من طاو (أى الطريق) وتى (أى الفضيلة). وشنج (أى التقليدية). تمت كتابته فى القرن السادس قبل الميلاد تقريبا بواسطة الحكيم لا و تسى (أى المعلم الكبير) ويعتبر كتابا أساسيا فى الطاوية والبوذية. (المراجع).

والظاهرة الثانية والأكبر هى أن الرائد يتحرك بسرعة تتجاوز ١٧٠٠٠ ميل فى الساعة، وبالتالى ستدق ساعته بمعدل أبطأ مما كانت ستدق به لو كان غير متحرك بالنسبة لسطح الأرض. إن سرعة دورانه الخطية فى مداره تبلغ ٠,٠٠٢٥٤ فى المائة من سرعة الضوء. صحيح أن تباطؤ ساعته بالغ الضآلة، بيد أنه حقيقة واقعة.

إن "أندييف" هو أعظم مسافر عبر الزمن إلى يومنا هذا. على أن روادا آخرين سافروا هم أيضا إلى المستقبل. فعلى سبيل المثال فإن ستورى موسجريف **Story Musgrave**، الذى ساهم فى إصلاح تلسكوب هابل الفضائى، قد قضى فترة إجمالية فى الفضاء بلغت ٥٣,٤ يوما فى مداره، وعليه فهو أصغر بمقدار يزيد قليلا عن الملى ثانية (٠,٠٠١ من الثانية) عن سنه لو أنه ظل فى بيته. لقد سافر رواد الفضاء إلى القمر بسرعات تزيد عن سرعة "أند ييف"، غير أن رحلاتهم لم تدم إلا لبضعة أيام، وبالتالى فإن المسافة الكلية التى تحركوها فى الزمن كانت أقصر. لقد سافر أندييف إلى المستقبل لمدة ١/٥٠ من الثانية تقريبا. صحيح أن هذا ليس كثيرا، ولكنها حقا خطوة. فرحلة الألف سنة ينبغى أن تبدأ بجزء من الثانية.

الباب الثالث

السفر عبر الزمان إلى الماضى

كانت هناك امرأة شابة يسمونها المتألقة
كان بإمكانها أن تسافر أسرع من الضوء،
أقلعت ذات يوم،
فى طريق نسبية،
وعادت إلى دارها فى الليلة الماضية

أ.هـ.ر. بوللر A.H.R. Buller

يمكنك أن تشاهد الماضى

إذا طاب لك أن تشاهد الماضى فقط دون الحاجة إلى أن تزوره بنفسك، فليست هذه بالمهمة العسيرة، و إنما نحن نقوم بذلك فعلا فى يومنا هذا ، نظرا لمحدودية سرعة الضوء. فإذا نحن راقبنا نجم ألفا قنطورس والذى يبعد عنا بأربع سنين ضوئية، فإننا لا نشاهده كما يبدو اليوم، وإنما كما كان يبدو منذ أربعة أعوام خلت، ونرى نجم الشعرى اليمانية[1] (على مسافة ٩ سنوات ضوئية منا) كما كان يتألق منذ تسع

(١) هو ألمع نجوم السماء كما تبدو لنا ظاهريا (بعد شمسنا طبعا). (المترجم)

سنوات، وإذا تطلعت إلى مجرة أندروميدا[١] (المرأة المسلسلة) والتى يفصلنا عنها مليونا سنة ضوئية، فإنك تراها كما لاحت منذ مليونى عام، فى ذلك الوقت حينما كان أسلافنا الأوائل من سلالة الإنسان الماهر فى الأعمال اليدوية [٢](Homo Habilis) يدبون على الأرض. ونحن نرى تجمعات المجرات (Coma) والأكثر إيغالا فى البعد عنا كما بدت منذ ٣٥٠ مليون عام مضت، فى ذلك العهد الذى بدأت فيه البرمائيات زحفها خارجة من بحار كوكبنا. إن شبه النجم (الكوازار) ٣ C273 يبعد عنا بما يربو على ٢ مليار سنة ضوئية، ومن ثم فإننا نبصر به كما كان فى الحقبة الزمانية التى لم تتخط فيها أكثر أشكال الحياة تعقيدا على الأرض البكتريا (والكوازار أو أشباه النجوم الزائفة هى أجرام براقة، ربما تستمد الطاقة من غازات تهوى ناحية ثقوب سوداء هائلة فى مراكز المجرات). إن هناك شبه نجم على بعد سحيق .. تم اكتشافه مؤخرا على يد زميلى فى العمل ببرينستون: مايكل شتراوس Michael Strauss وتشاو هوى فان Xiao-Hui Fan يبعد عنا بأكثر من ١٢ مليار سنة ضوئية.

وهكذا كلما رنونا إلى مسافات أبعد، كلما أوغلنا فى التطلع إلى الماضى. كان أرنو بنزياس Arno Benzias وبوب ويلسون Bob Wilson الحائزان على جائزة نوبل أكثر الناس إمعانا فى النظر إلى الماضى، فقد اكتشفا الخلفية الإشعاعية للموجات الكونية متناهية الصغر (Cosmic microwave background radiation) والتى تتكون من موجات متناهية الصغر من الفوتونات تنهمر علينا من كل أرجاء السماء، وهى التى تخلفت من مرحلة طفولة الكون حينما كان فى درجة حرارة عالية. وتأتى هذه الفوتونات إلينا مباشرة من نحو ١٣ بليون سنة مضت، عندما كان عمر الكون الوليد

---

(١) هى أقرب المجرات إلى مجرة درب التبانة، ويمكن رؤيتها بالعين المجردة وتشمل حوالى ٢٠٠ مليار نجم. (المترجم).

(٢) من أوائل سلالات الإنسان الأول وأقلها شبها بالإنسان الحديث - عاش منذ ٢,٥ إلى ١,٦ مليون سنة. (المترجم).

٣٠٠٠٠٠ عام فقط. فتلسكوباتنا هى – على نحو ما – آلات زمان .. تتيح للفلكيين أن يتأملوا عينة مما كان عليه الكون فى الحقب الزمانية المختلفة. فعندما يرصد الفلكيون المجرات وهى فى طور التكوين، فإنما هم أشبه ما يكون بعالم بليونتولوجى[١] يرقب الديناصورات وهى تسعى فيما حوله.

ربما تتحدث نشرة الأخبار مساء اليوم عن سوبر نوفا [٢] شوهد متألقا فى مجرة قاصية لدى وصول ضوئه إلينا، رغم أن هذا الحدث قد حصل منذ زمن سحيق.

بيد أنه من المشوق كذلك أن ترى الأحداث التى انصرمت وانقضت على الأرض .. فحتى هذا صار فى حيز الإمكان. هل تود أن ترى نفسك فى الماضى؟ قف على بعد خمس أقدام من مرآة. إن الصورة التى تراها ليست لك الآن، ولكنها صورتك منذ ١٠ نانو ثانية مضت، وحيث إن الضوء ينتقل بسرعة قدم لكل نانو ثانية، فإنه يستغرق ٥ نانو ثانية لينتقل من جسمك إلى المرآة، و٥ نانو ثانية أخرى للعودة. وهكذا فعندما تنظر فى المرآة فإنك تطالع نسخة أصغر فى السن قليلا من نفسك الآن.

ترى .. ما هى أطول حقبة زمنية فى ماضى أرضنا يتيسر لنا الوصول إليها باستخدام الضوء المرئى؟ لقد ترك رواد أبوللو بضعة عاكسات فى بعض الأركان على سطح القمر (Corner Reflectors) . ويتكون العاكس الركنى من ثلاث مرايا متعامدة ومركبة بحيث تكون كل منها زاوية قائمة مع الآخرين (مثل ركن الحجرة الذى تلتقى فيه أرضيتها مع حائطين جانبيين فيها). أطلق شعاعا من الضوء صوب عاكس ركنى، فإنه سينعكس مرتدا من أحد الجانبين إلى الجانب الآخر، ثم من الأرضية ليعود بالضبط فى نفس الاتجاه الذى أتى منه. (تستعمل عواكس ركنية دقيقة فى عمل عواكس الدراجات حيث تعكس أشعة المصباح الأمامى فترتد تماما فى الاتجاه الذى

(١) البليونتولوجيا: علم يبحث فى أشكال الحياة فى العصور الجيولوجية السالفة. (المترجم).

(٢) السوبر نوفا: (المستعر الأعظم) ظاهرة سماوية نادرة الحدوث ينفجر فيها النجم ويبدو جرما لامعا لفترة قصيرة مصدرا كمية هائلة من الطاقة. (المترجم).

أتت منه). وعلى ذلك فإن العلماء الآن قادرون من مواقعهم على الأرض - على إطلاق أشعة الليزر من العواكس الركنية المركبة على القمر واستقبالها على الأرض ثانية. ويبعد القمر عنا في المتوسط بحوالي ٢٤٠٠٠٠ ميل (أي ١,٣ ثانية ضوئية). وعليه فإن رحلة الذهاب والإياب تستغرق ٢,٦ ثانية. وعندما يرصد العلماء عودة إشارة شعاع الليزر بتلسكوباتهم، فإنهم يرصدون حدثا جرى على الأرض منذ ٢,٦ ثانية، وهو حدث إرسال نبضة الليزر .. إنهم يتأملون ماضي الأرض.

ورغم أننا لا نستطيع أن (نرى) موجات الراديو، فإنها هي الأخرى قد يسرت لنا التواصل مع الماضي. إن التلسكوب الراديوي جولدستون **Goldstone** في كاليفورنيا قد أطلق إشارة رادار إلى حلقات كوكب زحل ثم التقطها، والوقت الذي تستغرقه رحلة هذه الإشارة ذهابا من الأرض ثم إيابا إليها نحو ٢,٤ ساعة، وهكذا عندما ارتدت الإشارة كان الفلكيون يفحصونها لحظة إطلاقها من الأرض منذ ٢,٤ ساعة.

فلنفترض أنك تود أن ترى الأرض كما كانت منذ عام مضى. ما عليك إلا أن تضع عاكسا ركنيا ضخما على بعد نصف سنة ضوئية، وتنظر إليه من خلال تلسكوب كبير، إن قمرا صناعيا للتجسس على ارتفاع قدره ٢٠٠ ميل، يمكنه أن يرى لوحات السيارات المعدنية على سطح الأرض، وإن تلسكوباً ذا قطر ٦ أقدام يمكنه على بعد ٢٠٠ ميل أن يكبر أشياء أبعادها ٣ بوصات، وهذا هو أفضل تكبير ممكن من الفضاء بسبب تعدد انكسارات الأشعة في جو الأرض وتغيرها. بمثل هذا التلكسوب، وعلى بعد ٢٠٠ ميل في الفضاء، يمكن أن تلتقط صورة مطرب لأغاني الروك يشدو في حفل موسيقي باستاد، وإذا كان قطر التلسكوب أكبر من ذلك بعشر مرات، فيمكنك رؤية نفس المشهد، وبنفس درجة صفاء الصورة على عشرة أضعاف البعد الأول. سيلتقط التلسكوب الفوتونات من موقع الحدث بنفس المعدل، وستحصل على مشهد بنفس درجة وضوح الصورة.

والآن، فلنفترض أننا قد شيدنا تلسكوبا عملاقا ذا قطر يساوي ٤٠ ضعفا قطر الشمس، وثبتناه في موضع ملائم من نظامنا الشمسي، ووجهناه نحو عاكس ركني

هائل بدوره على بعد نصف سنة ضوئية. سيمكنك الحصول على صورة نقية لحفل لموسيقى الروك أقيم على الأرض منذ عام مضى. لا مراء أن ذلك سيكون مشروعا باهظ التكاليف (ربما تكلف – كمجرد تخمين – نحو ١٠ ٣١ دولار أمريكى إذا نسبنا التكاليف طرديا إلى تكلفة تلكسوب هابل الفضائى).

لقد ركبت بالفعل عواكس بالفضاء .. يمكنها – نظريا – إعادة فوتونات الماضى إلينا على الأرض من الثقوب السوداء. إن الضوء الداخل فى ثقب أسود لا يخرج منه مطلقا، بسبب قوة أسر الجاذبية الهائلة، على أن الضوء الذى ينتقل خارج الثقب الأسود، ولكن قرب تخومه يمكنه أن ينحنى بزاوية ١٨٠ درجة مرتدا إلى الأرض. إن الثقب الأسود الدجاجة س-١ Cygnus x-1 6 [١] الذى يزن ربما أكثر من ٧ أضعاف وزن الشمس يبعد عنا ٨٠٠٠ سنة ضوئية. وفى الأساس، ربما انبعث فوتون من الأرض عام ١٤٠٠٠ قبل الميلاد، وسافر حتى وصل إلى ذلك الثقب الأسود، وطاف حوله ثم عكس اتجاهه ميمما شطر الأرض ليصلها عام ٢٠٠٠. ولسوء الحظ فإن الثقب الأسود بالغ الصغر وبالتالى فإن نسبة ضئيلة فقط من الفوتونات المنبعثة من الأرض تصل قريبا من الثقب الأسود، وكذلك ضئيلة جدا هى نسبة الفوتونات التى ترتد للأرض. وبناء على الحسابات فليس هناك احتمال لأن يعود حتى فوتون واحد كان قد انبعث من الأرض إلى ذلك الثقب الأسود على مدى تاريخهما المشترك.

وثمة إمكانية أخرى لكى نشاهد ماضينا اقترحها الفيزيائى الروسى "أندريه ساخاروف" Andrei Sakharov، تعتمد على فكرة مؤداها أن الكون ملتف على نفسه بصورة غريبة. وعلى سبيل المثال، فإن الرسومات على صفحة مسطحة من الورق تتبع معطيات الهندسة الإقليدية ، بيد أنك إذا لففتها وألصقت حافتها اليسرى مع اليمنى فإنك ستحصل على أسطوانة . فإذا اعتبرت أنك لاتزال تعيش فى مستوى مسطح فلابد وأن يظل مجموع زوايا أى مثلث ١٨٠ درجة. إلا أنك إذا مشيت بطول محيط

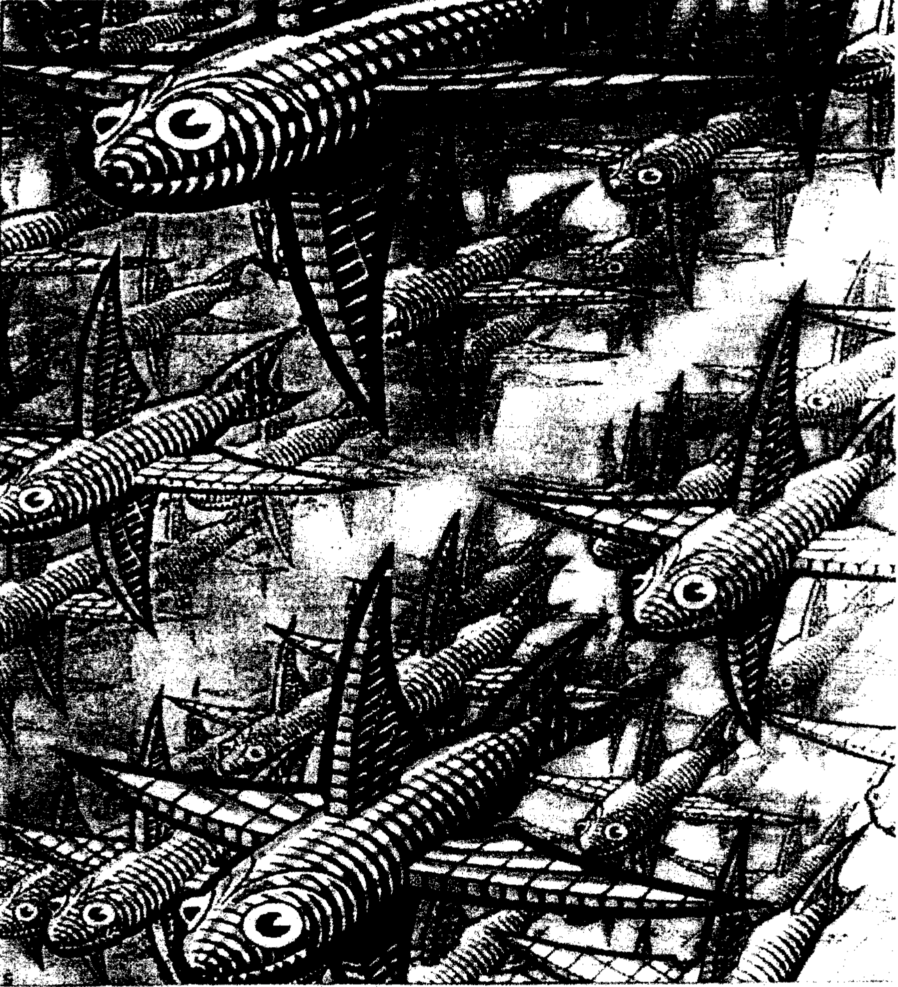
(١) يقع هذا الجرم السماوى فى كوكبة الدجاجة وهو مصدر للأشعة السينية. (المترجم).

الأسطوانة دون أن تغير اتجاهك، فإنك ستعود إلى النقطة التى بدأت منها. إنه أمر شبيه بلعبة الفيديو التى تخرج فيها مركبة فضاء من الناحية اليسرى للشاشة، ثم تظهر مرة أخرى فى التو من ناحيتها اليمنى. فربما يكون كوننا نسخة معدلة ذات ثلاثة أبعاد من هذه الظاهرة، صندوق عملاق موضوع بكيفية ما بحيث إذا خرجتَ من سطحه العلوى ظهرتَ ثانية عند القاع، وإذا خرجت من اليسار، فإنك تدلف ثانية من اليمين ، وإذا خرجت من مقدمته فستعود من الذيل. وهكذا يعود الضوء المرتحل خارجا من الطرف الأمامى لمجرتنا، ويدخل من طرفها الخلفى مستكملا مسيرته حتى يعود إلى "وطنه" (أى مجرتنا) ثانية، بعد أن يكون قد أتم دورة كاملة جاب فيها الكون. فى مثل هذا الكون سيدور الضوء ويدور فى أبعاد ثلاثة، ملتقطا صورا عديدة متكررة لمجرتنا. وهذه الصور المتضاعفة تأخذ كل منها مكانها فى تشبيكة **Lattice** (أشبه بصورة السمكة فى رسم م.ك. إشر **M.C. Escher**[(١)] المعروف باسم العمق **Depth:** ١٩٥٥ - شكل ٨. سيبدو لك الأمر كما لو أنك تحيا فى كون مترامى الأبعاد يحوى نسخا متعددة من كونك الصندوقى **Box Universe** مصفوفة فى ثلاثة أبعاد، وكأنها صناديق متراصة فى مخزن هائل الضخامة، وستكون أقرب الصور لمجرتنا على مسافة تعادل فى طولها أقصر أبعاد الصندوق.

لقد بحثت فى عام ١٩٨٠ مثل هذه النماذج للكون، واضعا بعض الحدود على مدى المسافة التى يمكن أن تصل إليها أقرب صورة لمجرتنا. ولقد تقدمت الأرصاد الحديثة فيما يختص بتعيين هذه الحدود. ويبدو الآن أنه إذا كان الكون متصلا معا بهذه الطريقة الطريفة، فمن المحتمل أن تكون أقرب صورة لمجرتنا إلى بعد ٥ بلايين سنة ضوئية عنا. وإذا صدق هذا التقدير، وإذا أمكننا التعرف على مجرتنا من بين بلايين المجرات، فيمكننا أن نشاهدها فى حقبة مضت منذ ٥ بلايين سنة قبل أن تتشكل الأرض.

---

(١) موريتس كورنيلس إشر (١٨٩٨-١٩٧٢) فنان ورسام هولندى اشتهر بأعماله الخشبية المستوحاة من الأفكار الرياضية والهندسية وبولعه بالتلاعب فى المنظور. (المترجم).



شكل رقم (٨) العمق (١٩٥٥) للرسام م.ك. إشر

صور متعددة لسمكة مفردة وكما تبدو فى كون صندوقى ملتصق بالحواف: القاع مع السطح ، واليسار مع اليمين والأمام والخلف.

قد توصل نيل كورنيش Neil Cornish من جامعة مونتانا الحكومية، وجلين ستاركمان Glenn Starkman من جامعة كيس ويسترن ريزيرف، ورفيقى فى برينستون دافيد سبرجل David Spergel إلى اختبار هذه الإمكانية بأرصاد خلفية الموجات الكونية فائقة الصغر. إن فوتونات خلفية الموجات الكونية فائقة الصغر التى بمقدورنا رصدها تأتى من قشرة على شكل كرة نصف قطرها ١٣ بليون سنة ضوئية، بقدر أبعد ما يمكن أن نراه اليوم. فإذا كانت أبعاد كوننا الصندوقى أصغر من هذا، فإنه لن يستوعب نصف القطر البالغ طوله ١٣ بليون سنة ضوئية، وسيبرز من سطح الصندوق العلوى ويعود إلى الدخول من قاعه، مما يتيح للكرة أن تتقاطع مع نفسها. ولما كانت الكرة تتقاطع مع كرة أخرى فى دائرة، ففى هذه الحالة ستعود كرة خلفية الموجات فائقة الصغر إلى دخول الصندوق، متقاطعة مع نفسها ويكون التقاطع على شكل أزواج من الدوائر، ويعنى هذا أن خريطة الذبذبات فى سماء الموجات فائقة الصغر ينبغى أن تشمل بعض الأزواج من الدوائر المتماثلة تمام التماثل. ويمكن على الفور التعرف إلى هذا النمط إحصائيا فى خريطة تفصيلية تجمع كل خلفية الموجات فائقة الصغر فى السماء كلها، كما سنحصل عليها من القمر الصناعى MAP (مسبار تباين خواص الموجات فائقة الصغر Microwave Anisotropy Probe). وبالعثور على هذه الدوائر المتماثلة فى سماء خلفية موجات الميكروويف يتسنى لنا أن نعرف أين يجب أن ننظر لنتعرف أقرب صورة لمجرتنا. كل ما عليك متى عثرت على أكبر زوج من الدوائر المتماثلة فى سماء الموجات فائقة الدقة أن تنظر فى اتجاه مركز دائرة منهما. إذا كانت أقرب صورة لمجرتنا لا يتجاوز بعدها ١٣ بليون سنة ضوئية فسيمكننا أن نراها. ومما ينبغى ذكره أن هذه الأكوان المنطبقة (الملتصقة على بعضها) ليست بأبسطها. لذا فلا يجب أن تتملك الدهشة أحدا إذا لم تتكشف أية من الدوائر المتوافقة لذلك فى خلفية الموجات فائقة الصغر، وإن كان العثور عليها مثيراً للغاية ، إذ من شأنه أن يمنحنا الفرصة لنشاهد مجرتنا بالذات كما كانت تبدو منذ زمن سحيق. وما من شك فى أن كل تلسكوبات العالم العظيمة ستوجه صوب تلك البقعة.

كيف تتيح طبيعة الزمكان المنحنية، السفر إلى الماضى

فلنتخيل أنك بدلا من الاكتفاء بالرغبة فى مشاهدة الماضى، ترغب فعلا فى الذهاب إليه بنفسك. فوفقا لنظرية النسبية الخاصة، عندما تتزايد سرعة تحركك مقتربا من سرعة الضوء، ستتباطأ ساعتك، ولو بلغت سرعة الضوء لتوقفت ساعتك بالكلية، ولو قدر لك أن تتحرك بسرعة تتجاوز سرعة الضوء لأمكنك – من ناحية المبدأ – أن تعود أدراجك إلى الماضى – تماما مثل "المرأة التى يسمونها المتألقة". ولكنك لسوء الحظ – لا تستطيع أن تتجاوز سرعة الضوء، فالنسبية الخاصة تقيم الدليل على أن سرعة الضوء هى الحد الأقصى لسرعة مركبتك الفضائية ، بل فى الكون كله. على أنه طبقا لنظرية أينشتاين للجاذبية والمعروفة بالنسبية العامة – وتحت شروط خاصة – يمكن أن ينحنى الزمكان بحيث يتيح هذا الانحناء اختراقه واختصار المسار بالسير خلاله على خط مستقيم بحيث تسبق شعاع الضوء وترحل إلى الماضى.

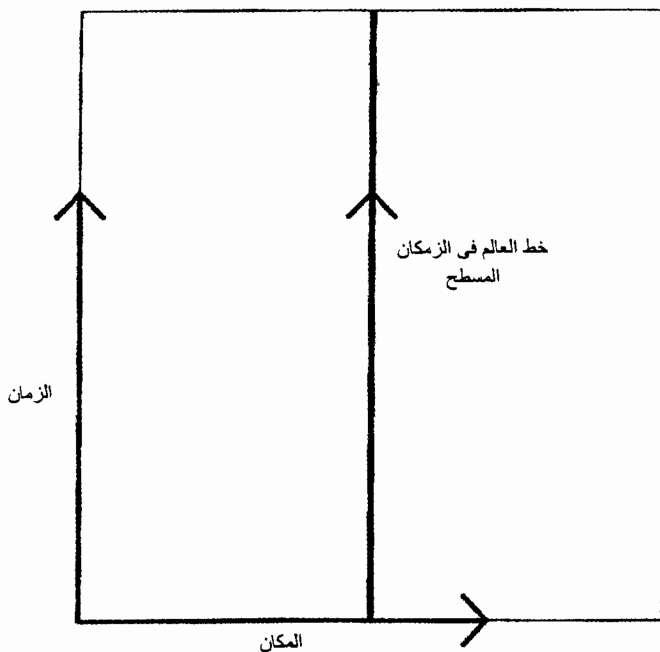
وكمثال ، فقد اقترح كيب ثورن فى "كالتك" مع معاونيه فكرة سلوك طريق مختصر عبر الزمن إلى الماضى بسرعة خلال ثقب دودى – وهو بمثابة نفق تخيلى فى خط مستقيم يخترق المنطقة التى ينحنى فيها الزمكان. إذا أمكنك عمل هذا الاختصار للطريق، أمكنك بلوغ موقعك النهائى المستهدف، متقدما عن شعاع الضوء الذى يتحرك عبر الفضاء المنحنى. وفى مثل هذه الحالة إذا نظرت إلى الخلف – بعد وصولك – صوب النقطة التى غادرتها عبر الفضاء المنحنى، فسترى نفسك وأنت مازلت تتأهب للمغادرة. وفى الحقيقة، إذا كان لديك ما يكفى من المهارة ربما استطعت حتى أن تعود أدراجك عبر الزمن "لتودع" نفسك. تتيح النسبية العامة حلولا مرنة بها ما يكفى من التحايل لكى تسافر فى رحلة وتعود إلى المكان والزمان اللذين كنت قد بدأت منهما، مصافحا نفسك (وهو السيناريو الذى ذكرته فى الفصل الأول).

على نحو ما ، نحن جميعا مسافرون عبر الزمن ، متجهون إلى المستقبل بمعدل ثانية كل ثانية. يمكننا تجسيد الزمكان كقطعة من الورق ، يمثل الاتجاه العمودى فيها

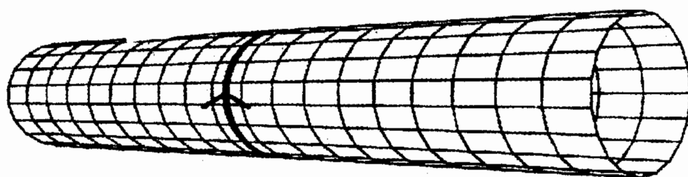
الزمن ويمثل الاتجاه الأفقى المكان، ويمكن أن يظهر خط عالمك كخط مستقيم يمضى من القاع إلى القمة باطراد ناحية المستقبل. (شكل رقم ٩). غير أن نظرية أينشتاين عن الجاذبية تبين كيف يمكن أن يتقوس الزمكان. افترض أنك لففت الحافة العليا لهذه الورقة (التى تمثل المستقبل) وألصقتها بأسفلها (الماضى) ، مشكلا إياها فى هيئة أسطوانة (١) (شكل ٩). ألا يمكن لخط عالمك أن يعود إلى حيث بدأت بالدوران على سطح الأسطوانة ، حتى وإن كان - من ناحية الموقع - يبدو منتقلا إلى الأمام خلال الزمن؟ سيكمل خط عالمك ما يسمى "بمنحنى مغلق زمانى السمة" "**Closed timelike curve**"، وبذات الطريقة غادر بحارة "ماجلان" أوروبا على سطح الأرض المنحنى ، متجهين دوما صوب الغرب ، وانتهى بهم الأمر إلى الإبحار على سطح الأرض على طول دائرة كاملة والعودة إلى أوروبا من حيث كانوا قد بدأوا الرحلة. لم يكن هذا ليحدث لو كانت الأرض مسطحة ، ولأن الزمكان يمكن أن يتقوس فربما وجد المسافر عبر الزمان نفسه يعود إلى زيارة حدث فى ماضيه هو ، حتى على الرغم مما يصوره له منظوره من أنه كان متجها دوما صوب المستقبل طوال الوقت.

لماذا كان الزمكان مقوسا

ربما كانت قصة منتحلة ومنسوبة الى غير مؤلفها تلك القصة المشهورة عن أينشتاين والتى تصف موقفا له حين استغرق فى محادثة مع رجل فى معهد الأبحاث المتقدمة فى برينستون **Institute for Advanced Study, Princeton** وفى خلال حديثهما أخرج الرجل فجأة من جيب معطفه كتابا صغيرا ودون فيه على عجل شيئا ما. تساءل أينشتاين: "ما هذا؟"، فأجاب الرجل: "آه .. إنها مذكرة احتفظ بها معى حتى أدون أية خاطرة جيدة تعن لى قبل أن أُنسيها" فأجاب أينشتاين "ما كنت يوما فى حاجة لمثل تلك المذكرات ، فليس لدى سوى ثلاث أفكار جيدة".



خط العالم فى الزمكان المنحنى



يتقوس الزمكان فى شكل أسطوانة مكونا منحنى مغلقا (زمانى السمة)

شكل رقم (٩) خط العالم فى الزمكان المسطح والزمكان المقوس

خطرت له واحدة من هذه الأفكار عام ١٩٠٧ ، وهى تلك التى أسماها فيما بعد "أسعد" أفكار حياته. لقد فكر أينشتاين فى أن راصدا على سطح الأرض ، وراصدا على متن مركبة فضاء سرعتها آخذة فى الازدياد فى الفضاء ما بين النجوم ، سيكون لديهما نفس الإحساس. ولنتتبع هذه السلسلة من الأفكار لترى كيف ذلك. لقد وضح جاليليو أن الراصد الذى يلقى بكرتين ذاتى كتلتين مختلفتين إلى الأرض سيراهما ترتطمان بالأرضية فى نفس اللحظة. إذا أجرى راصد على متن سفينة فضاء منطلقة بين النجوم نفس التجربة، فألقى بكرتين مختلفتى الكتلة فإنهما ستعلقان دون حركة فى الفضاء، ولكن لما كانت محركات الصاروخ تعمل ، فإن أرضية سفينة الفضاء ستتحرك ببساطة إلى أعلى وتصطدم بهما على الفور. وهكذا سيرى كلا الراصدين نفس الأمر. فى إحدى الحالتين كان ذلك بسبب الجاذبية ، وفى الحالة الأخرى حدث ذلك بسبب تسارع الأرضية دونما تدخل من الجاذبية. على أن أينشتاين اقترح شيئا جريئا بحق. لقد بدا الموقفان متماثلين، فلابد أنهما فعلا متماثلان، ليست الجاذبية بأكثر من إطار مرجعى **Frame of reference** للتسارع. وبالمثل لاحظ أينشتاين أنك إذا دخلت مصعدا على سطح الأرض وانقطع حبله **Cable**، فستهوى أنت مثلك مثل أى شىء آخر فى المصعد نحو الأرض بنفس المعدل (جاليليو مرة ثانية .. الأجسام ذوات الكتل المختلفة تسقط بذات التسارع). كيف يا ترى تلوح لك الأشياء فى داخل المصعد؟ إن أى شىء ستلقيه سيبقى طافيا لا وزن له فى المصعد، لأنك أنت، والشىء الذى ألقيته والمصعد تهوون جميعا بنفس المعدل. وهذا هو ما ستشاهده بالضبط لو كنت على متن مركبة فضاء تسبح فيه بين النجوم. سينعدم وزن كل الأشياء داخل السفينة – بما فيها أنت – إذا طاب لك أن تجرب انعدام الوزن كما رائد الفضاء، فما عليك إلا أن تدلف إلى مصعد وتقطع حبله (تبقى هذه التجربة صالحة بالطبع حتى يرتطم المصعد بالقاع).

إن تأكيد أينشتاين على تماثل الجاذبية والتسارع – وهو ما سماه بمبدأ التكافؤ **Equivalence Principle** – قد تأثر بلا ريب بنجاحه السابق فى مضاهاة وضع

المغناطيس الساكن مع الشحنة المتحركة، بوضع الشحنة الساكنة مع المغناطيس المتحرك. فإذا كانت الجاذبية والحركة المتسارعة متكافئتين، فليست الجاذبية سوى حركة متسارعة، وسطح الأرض كان ببساطة متسارعا إلى أعلى. ويشرح هذا لماذا ترتطم الكرتان الثقيلة والخفيفة اللتان نلقيهما بالأرضية فى نفس اللحظة. فعندما تُترك الكرتان فإنهما تعلقان وتطفوان بلا وزن، والأرضية (أو الأرض) هى التى ترتفع وترتطم بهما. يالها من طريقة مبتكرة جديرة بالاعتبار ننظر بها إلى الأشياء.

ولكن سيبقى التساؤل .. كيف يمكن لسطح الأرض أن يتسارع لأعلى – مبتعدا عن مركز الأرض – إذا كانت لم تكبر وتكبر مع الزمن كما البالون المنتفخ؟. إن السبيل الوحيد كى يكون لهذا الكلام معنى هو اعتبار الزمكان منحنيا (مقوسا).

اقترح أينشتاين أن الكتلة والطاقة يسببان تقوس الزمكان. ولقد اقتضاه الأمر ٨ سنوات من العمل الشاق كى يشتق المعادلات التى تحكم ذلك. كان عليه أن يستوعب الهندسة العليا العويصة المبهمة للفضاءات المنحنية هائلة الأبعاد **Geometry of curved higher dimensional spaces** ... كان عليه أن يلم بمصفوفة ريمان للانحناء **Riemannian curvature tensor** وهى فى الرياضيات بمثابة غول أو وحش أسطورى، إذ تحتوى على ٢٥٦ عنصرا تبين كيف يمكن أن يتقوس الزمكان. لقد كانت رياضيات عسيرة حقا، وطالما قادت أينشتاين ليرتطم بنتائج مغلوطة.

بيد أنه لم يستسلم، فقد كان على إيمان عظيم بفكرته .. كما أنه تعرض للمنافسة. ففى صيف عام ١٩١٥، عندما أدلى بحديث يصف فكرته والصعوبات الرياضية التى جابهته، كان الرياضى الألمانى العظيم دافيد هلبرت **David Hilbert** من بين جمهور المستمعين، فعكف بعدها على محاولة حل المشكلة بنفسه، ووجد المعادلات الصحيحة باستعمال تقنية رياضية بالغة التعقيد لم يكن أينشتاين يستخدمها. وفى وقت متزامن تقريبا توصل أينشتاين بنفسه إلى ذات المعادلات. وقد ثار جدل لبعض الوقت بين المؤرخين للعلوم عمن منهما توصل إلى الصيغة النهائية للمعادلات أولا، ثم انتهى الأمر بأن حسم هذا الجدل الآن بنسبة الفضل فى ذلك إلى أينشتاين. كانت

حدود المعادلات فى شكل صيغ رياضية مركبة وهى المسماه بالمصفوفات **Tensors**، على أن المعادلات نفسها كانت لطيفة وبسيطة. إذا طاب لك أن تعرف كيف بدت معادلات أينشتاين (٢) فهاكها: إنها عشر معادلات مستقلة مدمجة فى معادلة واحدة:

$$R\mu v - \frac{1}{2} G\mu vR = 8 \pi Tmv$$

والجانب الأيسر من المعادلة يبين انحناء الزمكان عند موضع محدد ، والجانب الأيمن من المعادلة يشير إلى كثافة (الكتلة / الطاقة) ، الضغط ، الإجهاد ، كثافة كمية الحركة وفيض الطاقة عند نفس الموضع، وهى جميعا العوامل التى تسبب انحناء الزمكان. وقد وضح أينشتاين أن الكتلة يمكن أن تتحول إلى طاقة، والعكس بالعكس، على أن حاصل جمع مجمل مقدار الكتلة (مضروبا فى مربع سرعة الضوء) مضافا إليه كمية الطاقة هو مقدار ثابت.

لقد اقتضت معادلات النسبية العامة هذه أن تكون قوانين بقاء الكتلة وبقاء الطاقة بالتبعية صحيحة تلقائيا حتى فى أضأل حيز من الزمكان (فلا يمكنك الحصول على كتلة أو طاقة من العدم) فضلا عن أن المعادلات تقارب قوانين نيوتن فى الأحوال التى يكون فيها الزمكان قريبا من الشكل المسطح.

إن استخلاص أينشتاين لمعادلاته عن الجاذبية، تأسيسا على نظرية نيوتن للجاذبية فقط كنقطة انطلاق لهو من العلامات البارزة، يعادل فى روعته أن نفترض أن ماكسويل قد اشتق كل معادلاته للكهرومغناطيسية دون أن يلم بشىء سوى بقوانين الكهرباء الاستاتيكية ليس إلا، لكن الحقيقة أن إلماعات مسبقة عديدة قد ساعدت ماكسويل. كان على بينة بالمجالات المغناطيسية وحتى ببعض معادلاتها، فى حين لم يكن لدى أينشتاين أى من هذه الإرشادات، كما كانت الرياضيات التى خاضها الأخير أصعب بما لا يقاس. لقد طفق يكدح بدأب، ويجرب مختلف الأفكار حتى أدرك الطريق الصحيح. قال أينشتاين عن فترة مخاض الأفكار(٣) هذه: "إن سنوات البحث العلمى المضنى والقلق المتسلط فى وسط الظلام، والانتظار المجهد الثقيل والتراوح ما بين الثقة

واليأس المهلك ثم الخروج فى النهاية إلى النور لن يفهمها إلا هؤلاء الذين خبروها كما خبرتها". (ولعل أحد هؤلاء عالم رياضيات برنستون "أندرو وايلز" الذى دلل - فى النهاية - على مبرهنة "فيرمات" الأخيرة **Fermat's Theorem**، ذلك التحدى الرياضى الذى استعصى طويلا على الحل بعد مجهود متواصل دام لسبع سنوات).

عندما عثر أينشتاين فى نهاية المطاف على المعادلات الصحيحة، أثارت نظريته بعض التنبؤات المشهودة. ففى نظرية أينشتاين ينبغى أن تنتقل الكواكب عبر مسارات جيوديسية [(١)] (وهى أقصر المسارات فى الزمكان المنحنى). ولكى يمكنك استيعاب هذه الفكرة تخيل طائرة نفاثة تنتقل على مسار دائرى طويل (مسار جيوديسى) من نيويورك إلى طوكيو. ستتحرك الطائرة قدما إلى الأمام على الدوام، ولن ينحرف الطيار لا إلى ذات اليمين ولا إلى ذات اليسار، ولكن المسار نفسه مقوس. فإذا افترضت أنك مددت خيطا يصل بين المدينتين فوق سطح الأرض بحيث يكون مشدودا بلا ارتخاء، فسيمر هذا الخيط بشمال ألاسكا. حاول الآن أن تتبع مسار الطائرة على خريطة مركاتورية[(٢)] للأرض مثل التى تستعمل بحجرات الدراسة، سترى المسار منحنيا. وبالمثل فإن خط عالم الأرض يظهر كخط حلزونى فى الزمكان يلتف حول خط عالم الشمس (عد لطفا إلى شكل رقم ١). غير أن خط عالم الأرض خط مستقيم.

لقد وضحت نظرية أينشتاين تفسيرا مضبوطا لظاهرة شاذة، ولكنها معروفة جيدا لوحظت فى مسار كوكب عطارد، والذى طالما اشتهر بمنافاته لنظرية نيوتن عن الجاذبية. إن المحور الأكبر فى مسار عطارد الإهليلجى حول الشمس ينزاح فى

---

(١) المسار الجيوديسى هو أقصر مسافة بين نقطتين على سطح منحن غير مستو. (المترجم)

(٢) الإسقاط المركاتورى: طريقة فى رسم الخرائط تمثل فيها خطوط الطول والعرض بخطوط مستقيمة لا منحنية. (المترجم)

الاتجاه ويتقدم ببطء[1] بزيادة قدرها ٤٣ ثانية قوسية فى كل قرن عن الحسابات طبقا لجاذبية نيوتن (الثانية القوسية هى جزء من ٣٦٠٠ من الدرجة الزاوية). وعندما حسب أينشتاين المسار الجيوديسى المناظر لمدار عطارد ، وجد زيادة فى التوائه Twist قدرها ٤٣ ثانية قوسية كل قرن بالضبط. اشتد وجيب قلب أينشتاين ، وهو يجرى هذه الحسابات، وكأنى به يصيح وهو فى أوج انفعاله "يوريكا - يوريكا" [2] وجدتها - وجدتها".

صاغ أينشتاين تنبؤا آخر ، وهو أن أشعة الضوء تتقوس عند اقترابها من الشمس ، وهى ظاهرة يمكن التأكد منها. كل ما تحتاجه هو أن تلتقط صورة للنجوم فى السماء بالقرب من الشمس فى أثناء كسوف كلى لها (حينها يمكننا رؤية النجوم قرب الشمس) ، ثم نقارن هذه الصورة بأخرى قد التقطناها قبل ذلك بستة أشهر عندما كانت الشمس فى الناحية الأخرى من السماء (بالنسبة لنا) ومواجهة لهذه النجوم. سيظهر اختلاف ضئيل بين الصورتين بسبب انحناء أشعة الضوء القادمة من النجوم والمارة بالقرب من الشمس فى أثناء كسوفها. لقد تنبأت نظرية أينشتاين بانحراف مقداره ١,٧٥ ثانية قوسية فى مسار أشعة النجم التى تمر قرب حافة الشمس ، وهو ضعف مقدار الانحراف الذى تتنبأ به نظرية نيوتن لو أن الشمس كانت تجتذب الفوتونات (المنطلقة كالطلقة السريعة) بمثل ما تجتذب الكواكب (لو لم يكن هناك انحراف بالمرة لكان ذلك كفيلا بتبرئة نظرية نيوتن، لأن الفوتونات كانت ستتخذ مسارا مستقيما ما لم تشدها الجاذبية. واقتضت نظرية أينشتاين وجود انحراف، لأن الفوتونات طبقا لنظريته كانت تسير فى أقصر المسارات المتاحة لها فى الهندسة المنحنية).

---

(١) التقدم Procession هو تحرك حضيض الكوكب (أى أقرب نقطة فى مداره من النجم) بمرور السنين وببطء شديد فى نفس اتجاه دوران الكوكب حول النجم. (المترجم).

(٢) هو هتاف أرشميدس الشهير (٢٨٧-٢١٢ ق.م.) حين داهمته فكرة قانون الأجسام المغمورة وهو فى الحمام. (المترجم).

كان متوقعا حدوث كسوف كلى للشمس فى يوم ٢٩ مايو من عام ١٩١٩، ومن ثم واتت الفرصة للقيام باختبار فعلى للنبوءة التى صيغت مقدما. إذا انحرف الضوء المار قريبا من الشمس بمقدار ١,٧٥ ثانية قوسية، فإن أينشتاين على حق، وإذا لم يحدث للضوء انحراف، أو أنه انحرف بمقدار ٠,٨٧٥ ثانية قوسية، فنيوتن هو الفائز.

جهزت بعثتان لأخذ القياسات من موقعين مختلفين تتيسر رؤية الكسوف منهما: سوبرال بالبرازيل وجزيرة برنسيب الواقعة خارج ساحل أفريقيا [١]، وكما يروى إبراهام بيس كاتب سيرة أينشتاين، أعلنت النتيجتان فى ٦ نوفمبر ١٩١٩، فى الاجتماع المشترك للجمعية الملكية البريطانية والجمعية الفلكية الملكية. وأعطى القياس من بعثة سوبرال لقياس الكسوف ١,٩٨ + ٠,٣ ثانية قوسية وكان قياس بعثة برنسيب ١,٦١ + ٠,٣ ثانية قوسية، وقد وافقت النتيجتان قيمة أينشتاين (١,٧٥ ثانية قوسية) فى حدود التجاوز المسموح به فى ظل عدم اليقين فى الأرصاد (± ٠,٣ ثانية قوسية)، فى حين خالفتا قيم نيوتن. وقد رأس هذا الاجتماع ج.ج. تومسون الحائز على جائزة نوبل ومكتشف الإلكترون، وبعد الاستماع إلى هذه النتائج أعلن تومسون: "إنها لأعظم النتائج التى حصلنا عليها أهمية فيما يختص بنظرية الجاذبية منذ يوم نيوتن، [٢] ومن المناسب أن تعلن فى اجتماع للجمعية وثيقة الصلة به. إن النتيجة واحدة من أجل إنجازات الأفكار الإنسانية. وفى اليوم التالى نشرت القصة فى "لندن تايمز" تحت العنوان الرئيسى: "ثورة فى العلم"، وتلقفت النيويورك تايمز "القصة بعدها بيومين . كم كان العالم متأهبا لاحتضان رؤية أينشتاين!

---

(١) فى خليج غينيا. (المترجم).

(٢) يعرف يوم ٢٥ ديسمبر من كل عام بيوم نيوتن (١٦٤٢ - ١٧٢٧)، فالتاريخ الحقيقى لمولده ٢٥ ديسمبر من عام ١٦٤٢م. (المترجم).

كون جودل Godel's Universe(٤)

منذ أن أعلن أينشتاين معادلاته للجاذبية فى ١٩١٥، والناس دائبون فى البحث عن حلول لها. وفى لغة الفيزيائيين يعطى مثل هذا الحل وصفا رياضيا للشكل الهندسى الذى سيبدو عليه الزمكان وتوزيع الكتلة والطاقة المطلوبتين لتكونه ، وللكثير من هذه الحلول خواص مشهودة. فى ١٩٤٩ عثر على أحد هذه الحلول المدهشة زميل أينشتاين اللامع فى معهد الدراسات المتقدمة ببرنستون الرياضى كورت جوديل وهوحل يتيح السفر عبر الزمن إلى الماضى.

كان حل جودل المرموق لمعادلات أينشتاين كونا ليس بالمتمدد ولا بالمنكمش ولكنه – بدلا عن ذلك – كون دوار **Rotating**. والآن نح جانبا التفكير فى الكون لدقيقة، وفكر فى نفسك. إن أذنك الداخلية هى التى تخبرك ما إذا كنت تلف حول نفسك أم لا. إذا كنت تدور حول نفسك بسرعة فسيعتريك الدوار، عندئذ سيخرج المائع الموجود بأذنك الداخلية إلى قنواتها شبه الدائرية، مزودا دماغك بأفكار متضاربة عن الاتجاه إلى أعلى فتضطرب دماغك وينتابك الدوار ، وكبديل يمكنك أن تخبر بأن الغرفة حولك لا تدور بسرعة بملاحظتك أن بدنك فى حالة سكون بالنسبة للغرفة وأنك لا تحس دوارا. إذا قدرنا أن شخصا قد اختطفك ووضعك فى لعبة بمدينة (ملاهٍ) تتألف من منصة دائرية صغيرة **(Merry-go-Round)** تدور بسرعة، فستدرك أن الغرفة تدور؛ لأنك إذا احتفظت بجسمك فى وضع ثابت بالنسبة للغرفة فسيعتريك الدوار. والسبيل الوحيد لتجنب الدوار هو أن تأخذ فى الدوران فى اتجاه معاكس لاتجاه دوران الحجرة حتى تعادل تأثير دورانها (ومن ناحية المبدأ لو أن أذنك الداخلية ذات حساسية فائقة غير معتادة ، لأمكنك استخدام نفس التكنيك أن تقول إن الأرض تدور ، ولكن ببطء يجل عن إحساسك به).

فإذا عدنا للحديث عن "كون جودل"، فسنجد أن الراصد غير المصاب بالدوار وبالتالى الذى لا يدور حول نفسه ، سيخيل له أن الكون بأكمله يلف من حوله ، ومن ثم سينتهى إلى أن الكون يدور. علاوة على ذلك فإن المسافات بين المجرات فى "كون

جودل" لا تتغير مع الوقت ، ولكنها مثل أطباق الطعام الموضوعة على صينية توابل هائلة Giant Rotating Lazy Susan . إن راصدا غير مصاب بالدوار قد يعتبر أن المجرات البعيدة بعدا كافيا عنه ينبغى أن تتحرك أسرع من الضوء حيث إنها تدور حوله راسمة دوائر هائلة. لا يتعارض هذا مع نتائج النسبية الخاصة لأنه يعنى فقط أن السرعة النسبية للمجرات فى أثناء قطعها لمسارات بعضها البعض لا يمكنها أن تتخطى سرعة الضوء. ولكن المجرات فى كون "جودل" لا تتقاطع مساراتها على الإطلاق ولكنها تبقى على مسافات ثابتة فيما بينها (وبالمثل يمكن أن تنظر إلى كون "جودل" على أنه ساكن غير دوار طالما أن الراصد غير المصاب بالدوار - باعترافه هو - سيبقى يدور حول نفسه "كالدراويش" بالنسبة للكون ككل).

إن فوتونا منطلقا فى كون"جودل" سيحاول أن يتحرك فى خط مستقيم. ولكن نظرا لأن الكون يدور حول نفسه فإن الفوتون فى الواقع سيتخذ فى عودته مسارا طويلا مثله مثل البوميرانج [١] Boomerang. غير أن لكون "جودل" خاصية أخرى أكثر إثارة للفضول. لو أنك انطلقت من مجرتك فى رحلة قصيرة، فإنك ستعود حقا بعد مغادرتك، ولكن لو أن رحلتك طالت طولا كافيا بسرعة تقارب سرعة الضوء، ولكنها لا تصل لها ، فبمقدورك أن تعود لبيتك فى نفس الوقت الذى بدأت فيه رحلتك أو حتى قبل ذلك، فلما كان الضوء يتخذ مسارا حلقيا لولبيا كمسار البوميرانج فى كون جودل، فبإمكانك أن تطلق صاروخك باستمرار بحيث يسلك مسارا مستقيما مختصرا مختزلا يقصر عن مسار البومرنج وبالتالى يسبق شعاع الضوء. استفد من هذه الميزة فى رحلة طويلة، ومثل "الفتاة المتألقة" يمكنك العودة لدارك فى الليلة الفائتة. لقد كان جودل من الذكاء بحيث لم يفهم فقط نظرية أينشتاين ولكنه أيضا نجح فى توجيهها فى اتجاه جديد: السفر عبر الزمن.

---

(١) البوميرانج : سلاح منحن مسطح يرتد لراميه بعد قذفه. (المترجم)

على أن أرصادنا تخبرنا أننا لا نعيش - كما هو واضح - فى الكون الذى اقترحه "جودل". فنحن نرصد تباعد المجرات عن بعضها البعض وتمدد الكون، إن المنظومة الشمسية، بالمسارات التى تسير فيها الكواكب والكويكبات والمذنبات تمثل "جيروسكوبا" [1] جبارا ، وبمقدورنا أن نحدد أن المجرات القصية لا تدور بالنسبة لهذه المنظومة. كذلك، لو أن الكون يدور بقدر كاف، فستتنوع درجة حرارة خلفية الموجات فائقة الصغر الكونية، فى نسق منتظم بعرض السماء، وهو ما لم نرصده. على الرغم من ذلك، فإن حل "جودل" جد مهم؛ لأنه وضح أن السفر عبر الزمن إلى الماضى فى حيز الإمكان - من حيث المبدأ - طبقا لنظرية أينشتاين للجاذبية. وطالما وجد حلاً له هذه الخاصية ، فمن الممكن أن يكون هناك حلول أخرى.

الأوتار الكونية Cosmic Strings

فلننظر فى حل صحيح آخر لمعادلات أينشتاين، ذلك الحل الذى يصف الشكل الهندسى حول "الوتر الكونى" ، وهذا المصطلح يقصد به شريحة رفيعة من مادة هائلة الكثافة تخلفت من مراحل نشوء الكون المبكرة، وتنبأت بوجودها نحو نصف النظريات التى تحاول أن توحد بين قوى الكون المختلفة (وبالتالى تفسر كل قوانين الفيزياء). فإذا سلمنا بالاقتراح القائل باحتمال وجود الأوتار الكونية، فلن ندهش كثيرا إذا اكتشفناها. كم سيكون العثور عليها مثيرا! إن نظرية الأوتار الفائقة **Superstrings** واحدة من أقوى النظريات المرشحة لتصبح "نظرية كل شىء" إذ تطرح أن كل الجسيمات الأولية مثل الإلكترونات هى عبارة عن حلقات بالغة الدقة (كما ذكرت فى

(١) جهاز لتحديد الاتجاهات يتألف من قرص أو عجلة دوارة أو غيرها توضع على قاعدة بحيث يمكن لمحور القرص أو العجلة أن يدور بحرية باتجاه واحد أو أكثر ، وبذلك يحافظ على اتجاهه بغض النظر عن أية حركة فى القاعدة. (المترجم)

الباب الثانى). ومن الناحية النظرية فإن الأوتار الفائقة لا عرض لها، وتتكون فى حلقات ميكروسكوبية مغلقة، فى حين أن الأوتار الكونية ذات عرض دقيق ولكنه ليس صفرا، أما طولها فربما يصل إلى ملايين السنين الضوئية، بل ربما أطول.

ليس للأوتار الكونية أطراف أو نهايات، ومن ثم ففى كون لا نهائى إما إنها لانهائية الطول، أو توجد فى شكل حلقات مقفلة. (فكر فى شرائط لا نهائية الطول من الإسباجيتى أو الإسباجيتى الحلقية). ويتوقع الفيزيائيون الذين يتنبأون بوجود الأوتار الكونية كلا النوعيتين، ولكنهم يتوقعون أن معظم كتلتها ستأخذ شكل أوتار ذات طول لا نهائى، ويتوقع العلماء أن تكون الأوتار الكونية أقل عرضا من نواة الذرة، وذات كثافة مقدارها ١٠ مليون بليون طن فى كل سنتيمتر. كذلك فإن الأوتار فى حالة شد، مثل أشرطة مطاطية ممدودة، وهى ما تسبب اتخاذ هذه الأوتار لا نهائية الطول لشكل الخط المستقيم مع مرور الوقت، وتمرق دوارة فى سرعة تجاوز – نمطيا – نصف سرعة الضوء.

ونظرا لكتلتها الهائلة ، فإن الأوتار الكونية تفتل **Warp** الزمكان فيما حولها. ولكن كيف؟ لقد عثر "أليكس فيلنكين" **"Alex Vilenkin** من جامعة تافتس **Tafts** على حل تقريبى لمعادلات أينشتاين بالنسبة لوتر كونى مستقيم ذى طول لا نهائى ، ويبقى هذا الحل صالحا طالما ظل الشكل الهندسى للزمكان فيما حول الوتر مقاربا للمسطح. ووفقا لحل "فيلنكين" ستبدو المقاطع خلال الوتر أقرب إلى شكل المخروطات (الأقماع) منها إلى شكل صفحات مسطحة من الورق. لقد هيأ لى ذلك مدخلا ومفتاحا كبيرا للوصول إلى الحل الدقيق وإشهاره. وفيما سبق – فى عام ١٩٨٤، كنت قد درست مع طالب لدى هو "مارك ألبرت" كيف تطبق النسبية العامة فى العالم المسطح **Flat land** ذى البعدين المكانيين فقط، ووجدنا للجسم هائل الكتلة – فى العالم المسطح – حلا دقيقا يتخذ فيه الشكل الهندسى الخارجى هيئة مثل المخروط (لقد توصل إلى نفس النتائج فريقان من الفيزيائيين: الفريق الأول مكون من ستانلى ديزير، وورومان جاكيف، وجيرارت هوفت، والفريق الثانى من ستيفن جيدنجز، ج. آبوت وكاريل كوتشار، وقد

نشرت أبحاثهم فى نفس العام، كما ظهر أن فيزيائيا بولنديا اسمه أ. ستاروجيفيتش كان قد بحث نفس الموضوع بطريقة مبدئية قبل ذلك بعشرين عاما) ولقد افترضت أن إضافة بعد عمودى ثالث إلى حلنا فيما يخص العالم المسطح يمكن أن يؤدى إلى حل صحيح لمسألة الوتر الكونى.

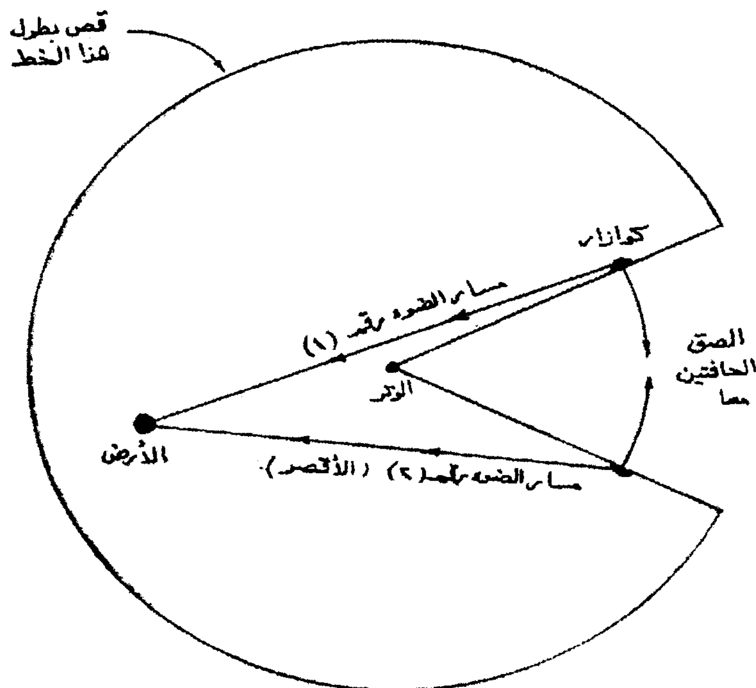
أدخلت تخمينى هذا عن شكل الزمكان فى الجانب الأيسر من معادلات أينشتاين حتى أتبين ما إذا كنت سأحصل على أرقام صحيحة لكثافة الوتر و مقدارالشد فيه فى الجانب الأيمن. وقد اقتضانى هذا أن أحل المعادلات فى كلا الحيزين: نطاق الوتر الكونى وكذلك خارجه، فلابد أن تتحقق معادلات أينشتاين فى كل مكان. وقد نجحت محاولتى، وحصلت على حل صحيح. ولقد توصل "وليم هيسكوك"(٥) من جامعة مونتانا الحكومية إلى نفس الحل بصورة مستقلة. نشرت نتائجى فى الأستروفيزيكال جورنال" فى حين نشر هيسكوك نتائجه فى "الفيزيكال ريفيو"، واليوم يحظى كلانا بشرف نسبة هذا الحل إليه. (وفيما بعد أضاف الفيزيائى الفرنسى برنارد لينيه بعض التفاصيل، كما ساهم الفيزيائى الأمريكى دافيد جار فينكل بإضافة بعض فيزيائيات الجسيمات). ولقد لاحظ لينيه – بالرجوع إلى مواد علمية سابقة فى الفيزياء – أن هذا الشكل الهندسى سبق فى عام ١٩٥٩ أن اقترحه ل.ماردر بقسم الرياضيات فى جامعة اكستر، والذى رأى فيه حلا رياضيا لمعادلات أينشتاين دون التطرق إلى إمكانية تطبيقه على الأوتار الكونية. وإحقاقا للحق فإن ماردر كان قد أنجز هذا العمل حتى من قبل أن تُقترح فكرة وجود الأوتار الكونية، ومن ثم فقد أهملت نتائجه تقريبا وصارت نسيا منسيا. وهو ما يشير إلى أن المرء يجب أن يولى اهتماما للشكل الأخاذ الذى تتخذه "الزمكانات" والتى ظهر أنها ذات صلة من الناحية الفيزيائية.

وإليك كيف يمكن تجسيد حلنا للشكل الهندسى للزمكان حول وتركونى مستقيم ذى طول لانهائى: افترض الوتر فى وضع عمودى. سنتصور للوهلة الأولى أن مستوى أفقيًا يقطع الوتر. سيبدو مقطعه كصفحة مستوية من الورق يظهر فيها الوتر كنقطة فى وسطها. ولكننا سنجد شكل المستوى كفطيرة بيتزا تنقصها شريحة (قطاع

دائرى) (عند شرحى ذلك لطلبتى الدارسين للنسبية فى برنستون، فإننى عادة أرسل فى طلب البيتزا لكل طلبة الصف لتجسيد هذه النقطة) ، ولكن إذا لم يكن لديك بيتزا حقيقية فيمكنك تشكيلها بالورق. انسخ أولا الشكل رقم ١٠، ثم اقطع الشريحة (القطاع الدائرى) واستبعدها، والآن اجذب الحافتين اللتين حول فراغ الشريحة المستبعدة برفق الواحدة ناحية الأخرى وألصقهما معا. ستنفتل قطعة الورق المستوية متخذة شكل مخروط (قمع). وكبديل آخر، إذا كان لديك مخروط ورقى وقصصته بطول أحد رواسمه من حافته الخارجية حتى رأس المخروط، فإنك لدى إفراده على سطح المنضدة المستوى ستحصل على شكل البيتزا بدون الشريحة المستبعدة. يأخذ الشكل الهندسى للفضاء حول الوترالكونى شكلا مخروطيا، يمثل الوتر رأس المخروط (مركز فطيرة البيتزا). أمسك بهذا المخروط بحيث يكون محيطه الدائرى فى مستوى أفقى وضع قلما رصاصيا فى وضع رأسى بحيث يستقر طرفه المحتوى على المحاة على النقطة المرقومة "بالوتر" (سيبدو كأنه سارية علم فى وسط منحدر أخضر بملعب جولف). القلم الرصاص هو الوتر، والمخروط (فطيرة البيتزا الناقصة شريحة) هو ما يبدو عليه مستوى أفقى من الزمكان حول الوتر.

ولا نجد طول محيط الدائرة (حافة فطيرة البيتزا) حول الوتر الكونى قدر نصف قطرها بضعف النسبة التقريبية (٢ ط نق) كما نتوقع طبقا للهندسة الإقليدية، ولكنه يساوى هذا المقدار مطروحا منه محيط الشريحة المنزوعة. وحيث إن الحافتين حول الشريحة المنزوعة ملتصقتان معا، فبمقدورك أن تنتقل عبر محيط الدائرة بأسرع من المعتاد. وتتناسب زاوية رأس القطاع الدائرى المستبعد مع كتلة كل وحدة طول من الوتر الكونى ، أى كلما زاد ذلك المقدار، كلما زاد حجم القطاع الدائرى الذى ينقص من الدائرة الكاملة وكلما زادت زاوية ميل راسم المخروط. فإذا أخذنا فى الاعتبار أن كتلة الوتر الكونى تبلغ ١٠ مليون بليون طن لكل سنتيمتر، فإن القطاع الدائرى المفقود سيحصر – عند رأسه – زاوية قدرها ٣,٨ ثانية قوسية. إنها شريحة دقيقة حقا تمثل

جزءا من ٣٤٠٠٠٠ جزء تمثل محيط الفطيرة الكاملة ، وعلى الرغم من ضآلة مقدار هذا التشوه فى الفضاء فإنه من الممكن قياسه.



شكل رقم (١٠) الفضاء حول وتر كونى

فلنفترض أن وترا كونيا يقع فى منتصف المسافة بيننا وبين كوازار (شبه نجم) على بعد سحيق (يمكن أن نرى الكوازارات حتى بعد ١٢ بليون سنة ضوئية). قص بالمقص بطول خط الالتصاق على المخروط بحيث تقسم النقطة التى تمثل الكوازار على الورقة (انظر الشكل ١٠). سيظهر جزء من النقطة على كل من الحافتين المحيطتين بالقطاع الدائرى الناقص من فطيرة البيتزا. لاحظ الخط المستقيم الواصل بين كل من صورتى الكوازار إلى الأرض (كما هو مبين بشكل ١٠). إنهما المساران اللذان سيتخذهما الضوء فى الزمكان المخروطى الشكل. كل من صورتى الكوازار متصل بالأرض بالمسار الأقصر والأكثر مباشرة ، وستسلك أشعة الضوء هذين المسارين وصولا إلى الأرض، مما يعنى أن الضوء سيصل إلى الأرض عبر طريقين بينهما اختلاف طفيف فى الاتجاه ، وبالتبعية فإن راصدا على الأرض سيشاهد صورتى الكوازار القصى ، كل منهما على أحد جانبى الوتر الكونى ، فستبدو الصورة الأولى على يسار الوتر فى حين تبدو الثانية إلى يمينه، وستقع الصورتان فى اتجاه المسارين المستقيمين المبينين كرقمى ١ ، ٢ فى الشكل. إن الفاصل الزاوى بين الصورتين وكما يُرى من الأرض سيبلغ نصف عرض الشريحة الناقصة أى نحو ١,٩ ثانية قوسية. إنك بهذا تكون قد ألممت بمبدأ الانحناء بالجاذبية الشبيه بانكسار الأشعة بالعدسات، (Gravitational Lensing)(١) فأشعة الضوء تتقوس طبقا للشكل الهندسى للزمكان.

تتيح لنا هذه الظاهرة أن نبحث عن الأوتار الكونية، والوتر أضأل سمكا بالطبع من أن يرى، ولكن التعرف إلى وجوده ممكن إذا عثرت على صورة مزدوجة لكوازارات الخلفية Back ground quasars إذا تطابق كوازاران فى طيفيهما، وتساويا فى

(١) معناه ظهور صورة مزدوجة لجرم سماوى بعيد لوجود مجرة كثيفة أو عنقود مجرى بيننا وبينه تحجب وصول ضوئه المباشر إلينا، ونتيجة انحراف ضوئه عند مروره قرب حافتى هذا الحائل من أثر المجال الجذبوى الهائل، فإن جاذبية الحائل تعمل عمل عدسة محدبة تكسر مسار الأشعة وتجمعها. (المترجم).

لمعانهما، فسيشاهدان وهما متجاوران فى السماء (كأزواج من الأزرار فى بزة مزدوجة الصديرية)، وبين هذين الصفين يمتد الوتر الكونى، وربما سهل الفلك الراديوى لنا التحقق النهائى من ذلك فيمكن للتلسكوبات الراديوية أن تمسح السماء بالأطوال الموجية للراديو وحيث إننا نتوقع أن الوتر يتحرك بسرعة، فإن فوتونات خلفية الموجات فائقة الصغر الكونية على كلا جانبى الوتر سيحدث لها انزياح طفيف إما ناحية الأحمر أو الأزرق فيما هى تدور بسرعة حول الجوانب المتعاكسة للوتر المتحرك. وسيظهر الوتر فى المسح الراديوى الدقيق فى شكل خط يتلوى كالأفعى عبر السماء، ويفصل بين نطاقين بالسماء أحدهما أعلى فى درجة حرارته من الآخر قليلا. وسيكون لاكتشاف هذا الوتر الكونى أهمية عظمى ، ليس فقط لأنه سيزودنا بمدخل ومفاتيح عن نشأة الكون الأولى، ولكن لأنه سيدعم كذلك الآمال لتحقيق "نظرية كل شىء".

نقطة مهمة أخرى، عندما نشاهد صورتين لكوازار سحيق البعد فإن المسافتين إلى الصورتين عبر المسارين يمكن أن تختلفا اختلافا يسيرا. ففى نسختك من شكل ١٠ على سبيل المثال ستجد أن الخطين المستقيمين اللذين يصلان الأرض إلى صورتى الكوازار مختلفان فى الطول، حيث المسار السفلى أقصر. وبما أن الضوء يسير دوما بسرعة ٣٠٠٠٠٠ كيلو متر فى الثانية، فإن قصر أحد المسارين عن الآخر يؤدى إلى وصول الإشارة القادمة عبره أولا. وتحدث ظواهر مشابهة عندما يتقوس الضوء فى أثناء حركته حول النواحى المعاكسة من مجرة كثيفة الكتلة. لقد رصدت مجموعة من برنستون يقودها زملائى إد تيرنر، وتوميسلاف كونديتش، ووس كولى وساهمت فيها شخصيا، رصدت الكوازار ٩٥٧ الحادث له الانحناء بالجاذبية ، ذا الصورتين أ، ب على جانبين متعاكسين من تلك المجرة. ويتغير لمعان هذا الكوازار مع الوقت بدرجة ملحوظة. ولقد رصدنا انخفاضا حادا فى لمعان الصورة أ وبمعرفة الشكل الهندسى نتيجة الانحناء بالجاذبية، تنبأنا بأن ذلك يجب أن يتبعه انخفاض مماثل فى لمعان الصورة ب، وتوقعنا أن يصل إلينا بعد وقت أطول بيسير، وقد نشرنا تنبؤنا، واستمررنا

فى الرصد، وبعد ٤١٧ يوما حدث هبوط مطابق فى اللمعان للصورة ب، وكان الفارق الزمنى كسرا ضئيلا من وقت سفر طويل استغرق تقريبا ٨,٩ بليون سنة.

يوضح هذا أن بمقدورك أن تكسب سباقا لك مع شعاع ضوء، فقد فاز الشعاع الضوئى أ على الشعاع الضوئى ب، بسلوكه مسارا مختصرا عبر الزمكان. وقد يكون لمركبة فضاء تنطلق بسرعة ٩٩,٩٩٩٩٩٩٩٩٩٩٪ من سرعة الضوء عبر المسار أ أداء أسوأ قليلا فى هذا السباق ، وإن ظل بإمكانها أن تهزم فوتونا منطلقا عبر المسار ب بزمن ٤١٤ يوم.

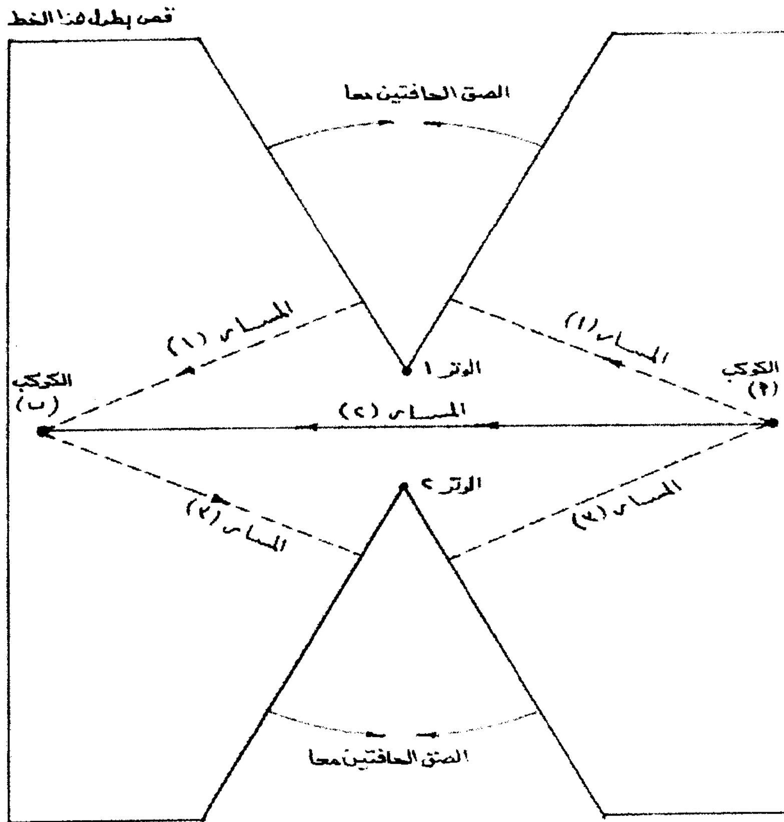
إذا تواجدت الأوتار الكونية، فيمكنك أن تسافر على متن مركبة فضاء وتسبق شعاعا ضوئيا باتخاذك المسار الأقصر فى مسارين حول الوتر الكونى. ها هى بوابة السفر عبر الزمن إلى الماضى آخذة فى الانفتاح.

الأوتار الكونية والسفر عبر الزمن إلى الماضى

تقوم فكرتى فى آلة زمن لزيارة الماضى على حل مضبوط لمعادلات أينشتاين نشرته فى عام ١٩٩١. وهاكم السيناريو: أولا: تخيل أننا نضع وترين كونيين مستقيمين لا نهائى الطول متوازيين مثل ساريتى علم. ومما يلاحظ أنهما لن يشد أحدهما الآخر بتأثير الجاذبية، وإنما سيبقيان مكانيهما دون حركة. فعلى الرغم من كثافة المادة المتناهية بداخلهما، فإنهما أيضا فى حالة شد ، مثل شريط مطاطى ممطوط. هذا الشد الذى يميل إلى تضام الوتر إلى بعضه، ناجم عن ضغط سالب أو شفط بداخل الوتر. وهذا التأثير السالب الطارد كنتيجة للضغط السالب. يعادل بالضبط الشد الجاذبى للكثافة الضخمة فى الوتر. وبذلك لو وضعنا وترين كونيين بالقرب من بعضهما فى حالة سكون فسيبقيان على وضعهما.

لكى نجد شكل المقطع العرضى للزمكان فى اتجاه عمودى على الوترين انسخ الشكل ١١ واقطع العينة على طول الخط المبين بالشكل. بالورقة نقطتان تمثلان

الوترين الكونيين، ولكن وكما فى مثال البيتزا ينقص مثلث ممتد من كل وتر. ضع قلمين رصاصيين عموديا بحيث ترتكز المحاة الموجودة بأسفلهما على النقطتين المرقمتين وتر ١، وتر ٢ الوتران كساريتى علمين منتصبتين رأسيا، والشكل يوضح مقطعا عرضيا أفقيا للشكل الهندسى المحيط. والآن الصق جانبى حرف V (رقم ٧) فى الجزء العلوى معا وجانبى حرف V المقلوب (الرقم ٨) معا لتحصل على نموذج لشكل الزمكان، ألا يشبه زورقا ورقيا؟



شكل رقم (١١) الفضاء حول وترين كونيين

بعد ذلك فلنتخيل كوكبين أ، ب على يمين الوترين وعلى يسارهما. هب أنك تعيش فوق الكوكب أ وترغب فى زيارة الكوكب ب. بمقدورك ذلك عن طريق السفر مباشرة إلى الكوكب عبر المسار (٢) ما بين الوترين الكونيين وهو المسار الجيوديسى .. مسار مباشر يمكنك (الإبحار) عبره بين الكوكبين، على أن هناك مسارا مستقيما من أ إلى ب يمر حول قمة الوتر الكونى (١). إذا ما قست بعناية، فستجد أن المسافة الكلية من الكوكب أ إلى ب بطول المسار (١) أقصر قليلا من المسافة عبر المسار (٢)، بسبب الجزء المثلث المستبعد. فالمسار (١) يختصر المسافة من الكوكب أ إلى ب. أرسل شعاعا ضوئيا من أ إلى ب عبر المسار (٢) فى حين تستقل أنت مركبتك الصاروخية مسافرا بسرعة ٩٩,٩٩٩٩٩٩٪ من سرعة الضوء عبر المسار (١) حول الوتر (١)، لتسبق هذا الشعاع الضوئى. عند وصولك للكوكب ب لن يكون شعاع الضوء الذى أطلقته لدى مغادرتك قد وصل بعد، فإذا نظرت خلفك صوب كوكبك أ عبر المسار (٢) فإنك ستشاهد نفسك على الكوكب أ وأنت تتأهب للمغادرة.

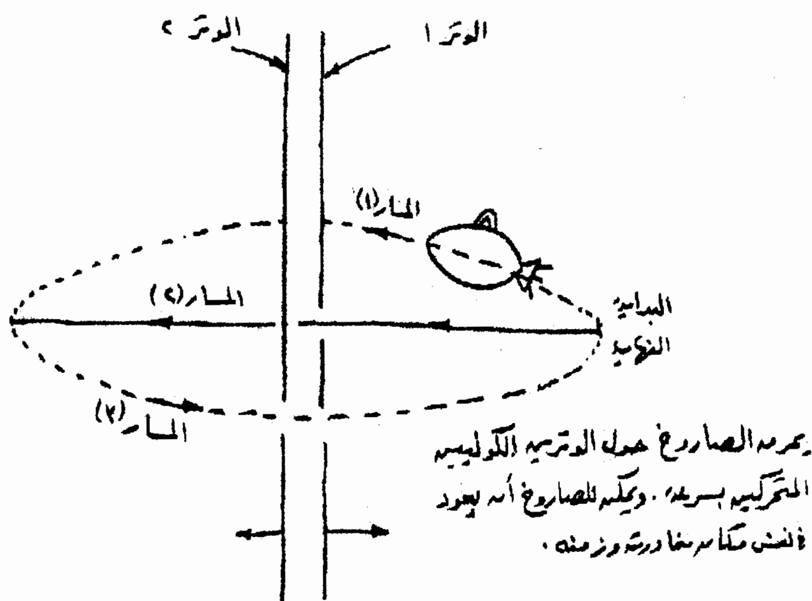
أليس هذا طريفا! ، بل الأكثر من ذلك، لو أن لديك المهارة الكافية فربما توفر لك الوقت لتعود أدراجك لتودع (نفسك). وفى الحقيقة، فإن هناك راصدا (ولنطلق عليه اسم كوزمو مثلا) يسافر مسرعا فى مركبة صاروخية عبر المسار (٢) من الكوكب أ إلى ب، سيظن أن مغادرتك للكوكب أ ووصولك للكوكب ب حدثان متزامنان. لماذا؟ ما دمت قد سبقت شعاع الضوء المسافر عبر المسار (٢)، فإن مغادرتك ووصولك هما حدثان منفصلان عبر المسار (٢) بعدد من السنوات الضوئية فى الفضاء أكبر من عدد السنوات (كزمن). وحيث إن هذا سينتج فاصلا مكانى السمة، فإن كوزمو يمكنه أن يرى فارقا مكانيا بين هذين الحدثين ولكنه لا يرى فارقا زمانيا.

لقد لاحظت أنه يمكننى أن أفصل - بدقة - الزمكان الموضح بشكل ١١ بإجراء اختصار حاد عبر المسار (٢) (تخيل أنك أهويت بسلاح حاد فى خط مستقيم عبر المسار ٢). اصنع المثل فى نموذجك الورقى وستفصل الزمكان إلى النصف العلوى الذى يحتوى على الوتر (١)، والنصف السفلى المحتوى على الوتر (٢). ولما كان الزمكان الاستاتيكى يمكن اقتطاعه بأكمله من الزمكان المستوى بمجرد استئصال

هذين المثلثين (الإسفينين)، فإن الحد الفاصل (أثر القطع بالسلاح) بين نصفي الزمكان هو أيضا مستو تماما. ليس للحد الفاصل أي انحناء حقيقي وهو ليس مقوسا. وبعبارة أخرى ، يمكن للنصف العلوي من شكل (١١) أن ينزلق في اتجاه اليمين بسرعة عالية (ولكنها أقل من سرعة الضوء)، كما يمكن للنصف السفلي من شكل (١١) أن ينزلق في الاتجاه العكسي بذات السرعة العالية، وستبقى الحافتان متوائمتين معا تماما في أثناء انزلاقهما في الاتجاهين المتعاكسين. وبهذا المفهوم صممت شكلا هندسيا يتحرك فيه الوتر (١) بسرعة ناحية اليمين، ويتحرك الوتر (٢) ناحية اليسار، مع تكامل جزءي الزمكان معا بشكل تام. ويحل هذا بمنتهى الدقة معادلات أينشتاين لكلا الجزأين وعلى طول الحد الفاصل فيما بينهما. وللتأكد من أن صديقنا (كوزمو) لن ينشطر لنصفين بهذه العملية، فلنتخيل أننا زحزحناه قليلا إلى النصف الأعلى من الشكل، بحيث إنه هو والوتر (١) سحبا ناحية اليمين. وفي الحقيقة سنكون قد حركنا النصف العلوي من الشكل بالضبط بنفس السرعة اللازمة لكي نعوض سرعة (كوزمو) الابتدائية ونؤول به إلى حالة السكون.

والآن .. فكر في (كوزمو) وهو يقبع ساكنا في منتصف المسافة بين الكوكبين (أ)، (ب) عبر المسار (٢). إنه يشاهد الوتر (١) متحركا بما يقارب سرعة الضوء ناحية اليمين، والوتر (٢) متحركا بما يقارب سرعة الضوء ناحية اليسار. لو أنك سافرت عندئذ بين الكوكبين، سالكا الطريق المختصر حول الجهة الخلفية للوتر (١)، فسيراك (كوزمو) وأنت تغادر الكوكب (أ) عند الظهر وتصل إلى الكوكب (ب) عند الظهر أيضا. لقد نجحت في القيام بهذه الحيلة بسفرك بعكس حركة الوتر (١) عبر المسار (١) (انظر شكل ١٢). وطالما أن الوتر (٢) يتحرك في عكس الاتجاه، فيمكنك القيام بحيلتك مرة أخرى بالمضي في عكس اتجاه حركة الوتر (٢) في خلال رحلة عودتك إلى الكوكب (أ) عبر المسار (٣). ولذلك يمكنك مغادرة الكوكب (ب) في الظهيرة والعودة إلى الكوكب (أ) في الظهيرة، طبقا لما يرصده (كوزمو). وحيث إن (كوزمو) يرى أن مغادرتك للكوكب (أ) وعودتك ثانية إليه يحدثان في نفس المكان (وهو الكوكب أ) وفي نفس الزمان (وقت الظهيرة)، فهما حدث واحد.

ولكن .. كيف ستبدو الرحلة لك أنت؟ إنها تشبه القصة التى وصفتها فى الباب الأول. عندما تصل إلى (الميناء الفضائى) للكوكب (أ) عند الظهيرة، فستجد نسخة أكبر فى العمر قليلا من نفسك .. تبادر بتحيتك ومصافحتك قائلة "مرحبا، لقد كنت فى رحلة حول الوترين" فتجيب أنت "حقا!" ثم تصعد على متن صاروخك طائرا إلى الكوكب (ب)، دائرا حول الوتر (١) الذى يدنو بسرعة عبر المسار (١) ثم تعود إلى الكوكب (أ) عبر المسار (٣) بالدوران حول الوتر (٢) المقترب بسرعة، وبعودتك ثانية إلى الكوكب (أ) عند الظهر سترى نفسك فى نسختك الأصغر قليلا فى السن، وتصافحها قائلا "مرحبا ، لقد كنت فى رحلة حول الوترين" وهكذا تكون قد أنجزت سفرا عبر الزمن إلى حدث فى ماضيك.



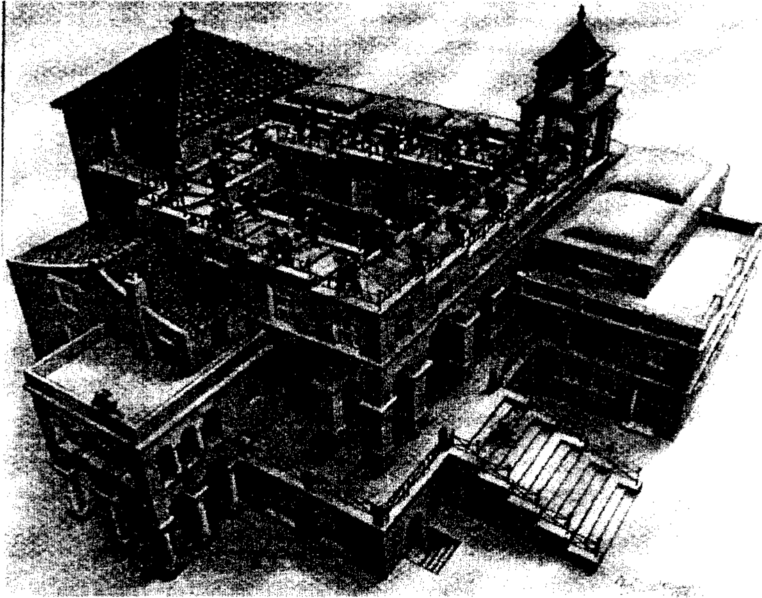
شكل رقم (١٢) السفر للوراء إلى حدث فى الماضى

إن حل الوتر الكونى المتحرك يتحور بدرجة كافية ليتيح لك السفر فى عكس اتجاه دوران عقارب الساعة حول الوترين الكونيين المتحركين ، ودوما صوب المستقبل ثم العودة فى نفس لحظة البداية. وما كان ذلك ليحدث لو لم يكن الزمكان منحنيا ولا يتبع قوانين الهندسة الإقليدية. ويذكرنى هذا الموقف برسم (إشر (Escher) المسمى "صعود وهبوط" والذى يصور مجموعة من الرهبان على أعلى درج فى كنيستهم (شكل ١٣). فالرهبان المتحركون فى اتجاه عقارب الساعة حول الدرج صاعدون دائما، كل خطوة أعلى من سابقتها. ولكنهم، بعد دورانهم حول الفناء ، يجدون أنفسهم تماما حيث بدأوا. ومن الطبيعى أن يكون لهذا الدرج شكل حلزونى لا يتقاطع مع نفسه. ولكن "إشر" جعل الدرج يتقاطع مع نفسه بحيلة فى الرسم المنظورى. ولكى تتبين إلى أى مدى خدعك، فلتلاحظ أن الدرج يصنع ٤ دورانات بزوايا قائمة حول الفناء، بما يعنى أن الفناء مربع الشكل. ومع ذلك فإن الضلع الأعلى الأيسر من الفناء أقصر كثيرا من الضلع الأسفل الأيمن. إن الفناء فى رسم "إشر" لا يخضع لقوانين الهندسة الإقليدية والتى تنص على أن الضلعين المتقابلين فى المستطيل يجب أن يكونا متساويى الطول. والخدعة التى استعملها "إشر" فى الرسم المنظورى هو ما تقوم به الأوتار الكونية بفتلها لشكل الزمكان الهندسى **(Warping)**.

وللسماح بالسفر عبر الزمن إلى الماضى (٦) يجب أن يتحرك كل من الوترين الكونيين – ولكل منهما كتلة تصل إلى نحو ١٠ مليون بليون طن لكل سنتيمتر – فى اتجاهين متعاكسين بسرعة قدرها ٩٩,٩٩٩٩٩٩٩٩٦٪ من سرعة الضوء (على الأقل) ، وإذا كنا قد رصدنا فى الكون بروتونات ذات طاقة عالية تتحرك بهذه السرعة على الأقل، فإن فى الإمكان الوصول إليها.

عندما توصلت إلى هذا الحل، تملكنى الانفعال حقا، فالحل أخذ فى الاعتبار فقط مادة ذات كثافة موجبة تتحرك بسرعات أقل من سرعة الضوء. وعلى النقيض من ذلك تتطلب حلول الثقب الدودى مادة شاذة ذات كثافة طاقة سالبة (مادة تزن أقل من العدم). اختبرت حلى عدة مرات، ثم دونته وأرسلت به إلى مجلة فيزيكال ريفيو ليترز

Physical Review Letters وهى أحد مجلات العالم الرائدة من حيث سرعة النشر. لم أخبر أحدا ، وظللت مترقبا لردود المراجعين. وقد وافانى تقريران يؤمنان على عملى ويقترحان فقط بعض الإضافات الطفيفة. وفى خاتمة المطاف، خرج البحث إلى النور فى ٤ مارس ١٩٩١ فتوجهت إلى معهد البحوث المتقدمة Institute for Advanced Studies (وهو مكان عمل أينشتاين القديم) لاستنساخ صورة من المقال بالمجلة، وذلك؛ لأن المعهد - بكيفية ما - يتلقى الإصدارات مبكرا عن مكتبة الفيزياء لجامعة برينستون بيوم أو يومين. أخذت النسخة لأطلع عليها جون هويلر، فيزيائى برينستون الذى ابتدع تعبير "الثقب الأسود"، وصادف ذلك قدوم "كيب ثورن" إلى برينستون ليلقى محاضرة فى ذات الأسبوع عن بحثه فى مجال السفر عبر الزمان باستخدام الثقوب الدودية. فأطلعته بالمثل على نسخة المقال. وإذا كان العلماء - فى الأفلام - يشرحون الأشياء دائما لبعضهم البعض بنبش المعادلات على السبورات ، فقد شرحت حلى من واقع المقال اختصارا للوقت.



شكل رقم (١٣) الصعود والهبوط (١٩٦٠) للرسام م.ك. إشر

في وقت متأخر من ذلك اليوم ذكر ثورن النتيجة الجديدة التى توصلت إليها فى أعقاب حديثه. (لطالما نوقشت الأفكار وأوراق البحوث .. وثار الجدال حولها فى الطرقات والممرات ومقاهى الأقسام العلمية). ورغم أن مقالى قد انتشر على نطاق واسع كحل مشهود لمعادلات أينشتاين فإنه - بطبيعة الحال - قد أحدث لغطا لدى بعض المتشككين ممن يرتابون فيما إذا كان من الممكن حقيقة أن يتم السفر عبر الزمان فى كوننا. ودعانى أليكس فيلنكين (من جامعة تافتس) لأحاضر فى بوسطون مجموعة المختصين بالنسبية من تافتس - وهارفارد - وإم آى تى MIT.

(فى نفس ذلك اليوم ظهرت مقالة عن بحثى لمايكل ليمونيك فى مجلة "التايم"، احتوت على صورة لى وأنا أمسك بخيطين ممررا حولهما مركبة فضاء صغيرة أعطتنيها ابنتى ذات السبع سنوات). وقبل ذلك بسنوات كنت قد ظهرت فى "النيوزويك" وأنا أمسك بخيط لأصور الحل القائم على وتر واحد (ولعل هذا يشفى حب الاستطلاع الذى أثارته صورتى فى النيوزويك ممسكا بخيط واحد فى حين ظهرت فى التايم ممسكا باثنين).

شكل رقم (١٤) نطاق السفر عبر الزمن حول وترين كونيين

عثر "جوث" وزميلاه فى MIT [٧] فيما بعد فى حلى على بعض الخواص المدهشة، منها هذه الحقيقة: لدى عودة صاروخك إلى الكوكب (أ) سيكون قد دار ٣٦٠ درجة ، وكذلك سيكون قد تلقى دفعة لسرعته. نقل كيب ثورن أخبار حلى إلى كالتك Caltech حيث عثر أحد طلبته "كورت كالتر" على خاصية أكثر إثارة. لقد قرر كالتر أن يرى ما إذا كان كل حدث فى الزمكان يمكن زيارته مرتين من قبل المسافر عبر الزمان. إن كل الأحداث التى بمقدور المسافر عبر الزمان زيارتها مرتين ، كمغادرتك للكوكب (أ)، تنتمى إلى النطاق الهندسى لإمكان السفر عبر الزمن. وأى أحداث يستحيل لأى مسافر عبر الزمن أن يرجع لها على الإطلاق تنتمى إلى نطاق "اللاسفر عبر الزمن". وقد وجد كالتر أن زمكانى يشمل النوعين: نطاق يلتف حول الأوتار حيث السفر عبر الزمن إلى الماضى ممكن، وهو يحيط بنطاق آخر للزمكان يشبه فى شكله الساعة الرملية ويستحيل فيه السفر عبر الزمن إلى الماضى (شكل ١٤). فى هذا الرسم التخطيطى للزمكان تم تمثيل بعدين مكانيين فى المستوى الأفقى فى حين مثل الخط العمودى البعد الزمنى، حيث يشير الاتجاه إلى أعلى للمستقبل. يتحرك الوتر (١) جهة اليمين مع الزمن فيرسم خط عالمه فى شكل خط قطرى مائل متجه إلى أعلى إلى اليمين. وسنرى أنه كلما أوغلنا فى المستقبل، كلما أمعن الوتر (١) فى الاتجاه إلى اليمين. ويتجه الوتر (٢) فى حركته للاتجاه المعاكس وخط عالمه متجه أيضا بميل إلى أعلى وإلى اليسار. فى الماضى السحيق (بقاع الرسم) نرى الوتر (١) إلى يسار الوتر (٢). إنهما يتقاطعان فى الوسط، وفى المستقبل البعيد (بقمة الرسم) نرى الوتر (١) إلى يمين الوتر (٢). ويتخذ السطح الذى يفصل حيز إمكانية السفر إلى الماضى عن حيز استحالته، شكل غطاءى مصباح (أباجورتين) أحدهما فى وضع مقلوب وملصقين معا. يطلق على هذا السطح أفق كوشى Cauchy Horizon [١] أطلق عليه اسم عالم

---

(١) أفق كوشى اصطلاح يطلق على الحد الفاصل بين حيزين: حيز إمكانية السفر عبر الزمن وحيز استحالته. (المترجم).

الرياضيات فى القرن التاسع عشر الفرنسى أوجستين لويس كوشى الذى أنجز بعض البحوث الرياضية المتعلقة بهذا الموضوع). إن الأحداث داخل الحيز الذى يشبه الساعة الرملية لا يمكن زيارتها ثانية ، فى حين يجوز للمسافر عبر الزمن زيارة الحيز خارج الساعة الرملية، بالدوران حول الوترين.

خط عالمك – كمسافر عبر الزمن مبين كذلك بالشكل. ستبدأ من أسفل الرسم ناحية اليمين وأنت جالس دون حركة بالكوكب (أ). سيصعد خط عالمك عموديا؛ لأنك لا تتحرك فى الفضاء وإنما تتحرك (زمانيا) إلى الأمام. بعدئذ ستغادر وتدور حول الوترين راسما دائرة أفقية كما فى الشكل. لدى عودتك للكوكب (أ) ستقول "مرحبا .. لقد قمت بجولة حول الوترين للفة واحدة." ثم تستقر فى بساطة على الكوكب فى حين يواصل خط عالمك سيره عموديا إلى أعلى.

إن الحدث الذى تقابل فيه ذاتك وتحييها يقع فى حيز إمكانية السفر عبر الزمان. من الطريف أن سطح أفق كوشى الشبيه بالساعة الرملية يطوق ويتاخم حيز السفر عبر الزمن إلى كل من الماضى والمستقبل. لاحظ أن خط عالمك يبدأ من الأسفل من الماضى السحيق فى حيز استحالة السفر عبر الزمن. ففى هذا الماضى البعيد يتباعد الوتران الكونيان عن بعضهما بحيث إن أى مسافر يبدأ من الكوكب (أ) فى ذلك الزمن سيستغرق وقتا طويلا للدوران حولهما بحيث لن يعود لكوكبه الأم ثانية إلا بعد مغادرته. فإذا تقارب الوتران وقطع خط عالمك أفق كوشى والجا حيز السفر عبر الزمن ستصبح العودة إلى الماضى ومصافحة نفسك فجأة فى حيز الإمكان .. لقد تم اختراع آلة الزمن. سيظل خط عالمك لفترة ما داخل حيز السفر عبر الزمن ، ولكنه فى النهاية سيخرج ثانية إلى خارج غطاء أو سطح المصباح المقلوب ، حيث تنتفى إمكانياتك للسفر عبر الزمن. هنا قد دمرت آلة الزمن. لقد عاد الوتران للتباعد بحيث إنك بدورانك حولهما ستعود دائما بعد أن تكون قد غادرت، فالسفر عبر الزمن جائز فقط عندما تتواجد آلة الزمن.

ويجيب هذا على سؤال ستيفن هوكنج الشهير "لماذا لم يداهمنا زوار من المستقبل"؟ لم يحدث ذلك - ببساطة -؛ لأن أحدا لم ينشىء آلة زمن بعد. وبعبارة أخرى لو أن آلة زمن أنشئت عام ٣٠٠٠ فربما استطاع مسافر عبر الزمن أن يستعملها ليرجع من عام ٣٠٠٢ إلى عام ٣٠٠١، ولكن لن يكون بمقدوره استخدامها للعودة إلى سنة ٢٠٠١؛ لأنها كانت قبل إنشاء آلة الزمن.

إن آلات الزمن - كآلتى التى تعتمد على حل الوتر ، أو حل الثقب الدودى لكيب ثورن، تتضمن لولبة للزمكان، وكلاهما تتضمن حيزا من الزمكان يستحيل فيه السفر عبر الزمان. وطالما لم تنشأ آلات للزمن بعد، فإننا فوق أرضنا لن نستطيع زيارة الماضى. والأكثر من ذلك، فإن كافة الأحداث التى نستطيع حاليا الإلمام بها تقع داخل مخروطنا الضوئى الماضى وكذلك قبل حيز السفر عبر الزمن. وهكذا، فنحن لا نشاهد مسافرين عبر الزمان لدى اغتيال كنيدى عام ١٩٦٣ لقد كان حدثا مهما ولكنه - مثلنا - وقع قبل اختراع أية آلة زمان وبالتبعية فلا يمكن لأى مسافرين عبر الزمان أن يزوروه. على أن عمل "كالتر" يبين أنه حتى إذا تحرى الراصدون ماضيهم هم بمنتهى العناية فلن يجدوا - على الإطلاق - أى إثبات لوجود مسافرين عبر الزمن، وليس لهم أن يستنبطوا أنهم لن يرتطموا أبدا بمسافرين عبر الزمان مستقبلا. ففى أى وقت قد يعبر الراصد أفق كوشى ويدخل بغتة حيز السفر عبر الزمان حيث يجوز أن يبرز مسافرون عبر الزمان من المستقبل على غير انتظار قائلين: "مرحبا".

عروات الوتر الكونى والثقوب السوداء

فلنفترض أنك تريد أن تبنى آلة للزمن على أساس الأوتار الكونية، ولكن الحظ لم يسعدك بالعثور على وترين كونيين ذوى طول لا نهائى يمران ببعضهما بالسرعة العالية المطلوبة فى كوننا. بمقدورك - على كل حال العثور على عروة هائلة من الوتر الكونى فى الفضاء. ستكون هذه العروة كالمارد الهائل، شريط من المطاط يتذبذب تحت شد

كبير حتى ليكاد ينطبق مغلقا. إن حضارة أعلى منا يمكنها دائما أن تروض هذه العروة عن طريق الجاذبية بإطلاق مركبات فضائية ثقيلة بالقرب منها إلى أن تكتسب الدوران المناسب وتتخذ الشكل المطلوب. لو أن للعروة الأصلية شكلا مستطيلا منحنيا انحناء بسيطا (كالإطار الذى يحيط بتكئة كرسى مريح تجلس عليه فى حديقة) فلسوف تنهار، وفى أثناء انهيارها سيمر مقطعان مستقيمان من العروة ببعضهما بسرعة تكفى لإيجاد آلة زمن.

إن عروة من وتر هائل بحيث يسمح لك بأن تدور حوله مرة وترجع فى الزمن عاما إلى الوراء إذا انهارت سيكون لها أكثر من نصف كتلة (أو طاقة) مجرة كاملة. على أننا سنواجه مشكلة أسوأ، فمثل هذه العروة من وتركونى ثقيل ستصبح مدموجة عند انهيارها بحيث يخشى أن تشكل ثقبا أسود. يشبه الثقب الأسود "فندق كاليفورنيا" كونيا، يمكن أن تحل به ولكن يصعب عليك مغادرته. إن من الطبيعى، إذا ألقيت بكرة إلى أعلى فى الهواء، أن ترتد ثانية إلى الأرض، ولكن، فلتلق بالكرة بسرعة تتجاوز ٢٥٠٠٠ ميل فى الساعة (سرعة الإفلات من كوكب الأرض[1]) فإنها لن تعود. لقد كان على رواد الفضاء الذاهبين إلى القمر بلوغ هذه السرعة، وسرعة الإفلات هى المفتاح لاستيعاب مفهوم الثقوب السوداء. لو افترضنا جدلا إمكانية ضغط الأرض بحيث تتخذ حجما أقل، فستزداد سرعة الإفلات منها. فلو ضغطنا الأرض بحيث يقل محيطها عن ٥,٦ سنتيمتر، لتجاوزت سرعة الإفلات منها سرعة الضوء، ولما كان من المستحيل التحرك بسرعة أعلى من سرعة الضوء، فلن يتمكن أى شىء من الإفلات من هذه الكرة الأرضية المدمجة، التى ستتحول حينئذ إلى ثقب أسود. وتحت هذه الشروط،

---

(١) سرعة الإفلات من أى كوكب هى السرعة التى يحتاج أى جسم على سطحه إلى اكتسابها للإفلات من نطاق جاذبيته، وهى تعتمد على كتلة الكوكب وأبعاده، وتساوى $\sqrt{\text{٢ دنق}}$ حيث د عجلة الجاذبية على سطح الكوكب، نق نصف قطره، وتصل هذه السرعة بالنسبة لكوكب الأرض لنحو ١١,٣ كم/ث. (المترجم).

ستتــسبب الجاذبية فى انهيار الأرض سريعا .. لتكون (مفردة Singularity) [1] وهى نقطة ذات كثافة وانحناء لا نهائيين. وفى الواقع ، قد تحدد ظواهر الكم كثافة المفردة بنحو ٥ × ١٠ ٩٣ جرام لكل سنتيمتر مكعب ، على أن حجمها لا يتجاوز حيز نواة الذرة. ويحيط بالمفردة حيز كروى هو أفق الحدث Event Horizon [2] إن أى شىء يحدث فى داخل هذه الكرة التى يبلغ محيطها ٥,٦ سنتيمتر، سيظل إلى الأبد مخفيا عن الراصدين من خارجها؛ لأن أى ضوء منبعث من داخلها عاجز عن الإفلات. (يتوقف حجم أفق الحدث الخاص بالثقب الأسود على كتلته. فالثقب الأسود ذو كتلة تساوى ثلاثة بلايين كتلة شمسنا – كذلك الثقب الذى رصده تلسكوب هابل الفضائى فى نواة المجرة المرقمة - M87 له أفق حدث يبلغ محيطه ٥٦ بليون كيلو متر أى حوالى ٥٢ ساعة ضوئية).

فلنفترض أن بروفيسوراً شاء أن يستقصى ثقبا أسود غير دوار له قدر كتلة الشمس ٣ بلايين مرة. يمكن للبروفيسور أن يبقى فى أمان خارج الثقب الأسود على بعد ٣٤,٢ يوما ضوئيا منه، ويبعث بطالبه الخريج بدلا منه. عندما يهبط الطالب التعس داخل الثقب ، سيرسل بالراديو بنتائج أرصاده. ستقول رسالته "الأمور تسير على نحو سيئ". إن الطالب يرسل كلمتى "على النحو" ، وهو – بالكاد – يعبر أفق الحدث، فلم يحدث شىء سيئ بعد. سيستغرق وصول الطالب إلى الأفق – حسب ما تشير به ساعته – ١٨ شهرا، ولن يلاحظ شيئا غير عادى فى أثناء عبوره له. (لا توجد أية لافتات تحذير) على أنه وبمجرد أن يعبر أفق الحدث سيكون قد وصل إلى نقطة اللاعودة. ومهما اجتهد فى تشغيل محركات صاروخه فسوف ينجذب – بلا رحمة – صوب المفردة الواقعة بمركز الثقب الأسود ، والزمكان فى داخل الثقب الأسود منفتل

---

(١) المفردة (أو الفذاذة أو المنتهى المبهم) هى المرحلة التى تصل فيها كثافة المادة وانحناء المكان إلى قيم لا نهائية وعندها يصل الزمكان إلى منتهاه عند مركز الثقب الأسود. (المترجم)

(٢) هو الحد الفاصل بين ما يمكن مشاهدته وما لا يمكن مشاهدته من أحداث تقع داخل الثقب الأسود. (المترجم)

لدرجة أن المفردة الآن تلوح فى غير وضوح أمام ناظرى طالبنا المنكود والذى لا يمكنه بعد الآن أن يتحاشى الارتطام بها (إلا بمقدار ما يمكنك أن تتحاشى يوم الثلاثاء المقبل)[1] وإذا كانت قدماه - فى أثناء سقوطه - أقرب إلى مركز الثقب الأسود من رأسه، فإن قدميه ستنجذبان إلى الداخل بأعنف مما تنجذب به رأسه. وسيستطيل - كما لو كان فوق "مخلعة" (أداة التعذيب القديمة عن طريق مط الجسم). بل الأدهى من ذلك فإن كتفيه اللذين يرغب كلاهما فى السقوط باستقامة فى الثقب سينحشران معا باقترابه من المركز كما لو كان ينسحق فى آلة تعذيب حديدية. وستتعاظم القوى المدية **Tidal Force** التى تقوم بمطه وسحقه. وإذ يدنو من المفردة، يمطه انحناء الزمكان اللامتناهى - كشريط من الإسباجيتى، ممزقا بدنه مزقا. وستتناثر أشلاؤه فى المفردة بمركز الثقب. لقد أضاف الثقب الأسود إلى كتلته كتلة طالب تعس غير محظوظ. وبناء على ساعة الطالب سيكون خمس ساعات ونصف قد انقضت ما بين سقوطه فى داخل أفق الحدث حتى تمزقه وإلقاء أشلائه بالمفردة.

فى هذه الأثناء تكون الفوتونات التى كان قد بعث بها إلى البروفيسور - كجزء من رسالته بالراديو - متخذة سبيلها إلى الخارج. إن كلمة "الأمور" التى بعث بها وهو بعد خارج الثقب الأسود تستقبل جيدا وسريعا بواسطة البروفيسور ، وكلمة "تسير" التى أرسلها وهو على شفا أفق الحدث ربما استغرقت آلافا من السنوات لتتسلق خارجه. وكلمتا "على نحو" اللتان أطلقهما لدى أفق الحدث تنتقلان إلى الخارج بسرعة الضوء طبعا ولكن - شأنها شأن طفل يجرى إلى أعلى سلم كهربائى يتحرك إلى أسفل - لا تحرزان أى تقدم، بل ستبقى الكلمتان معلقتين بأفق الحدث، مراوحتين فى مكانهما. وكلمة "سيئ" التى ترسل من داخل الثقب الأسود قبل مصرع الطالب التعس مباشرة، تسلك سلوك طفل يجرى إلى أعلى وهو على سلم كهربائى يتحرك

---

(١) يتشاءم الكثير من الغربيين من يوم الثلاثاء. (المترجم)

لأسفل بسرعة فائقة، فعلى الرغم من ركضه إلى أعلى فإن إشارته تنشد إلى أسفل وحتى بسرعة أكبر وفى النهاية تسحب إلى داخل "المفردة" – مثلها مثل الطالب نفسه – سيتلقى البروفسور الرسالة هكذا.

"الأمور ت .. س .. ى .. ر" ولكن لن يكتشف أبدا ماذا حدث للطالب فى داخل نطاق أفق حدث الثقب الأسود (ومن هنا جاءت تسميته بأفق، فلا يمكن رؤية ما خلفه). ولو تبع البروفسور تلميذه فيما بعد داخل الثقب الأسود، فسيصطدم بإشارة "على نحو" وهو يعبر أفق الحدث – فالكلمة مازالت هناك بطبيعة الحال – وفيما يسقط للداخل فسيرى الكلمة تمرق به بسرعة الضوء تماما، وهو ما يتسق مع النسبية الخاصة.

وبما أنك قد نلت تحذيرا كافيا من مخاطر كونك خريجا جامعيا فى مجال الفيزياء الفلكية تقوم باستقصاء الثقوب السوداء، فدعنا نبحث ماذا يعنى هذا بالنسبة لآلة الزمن القائمة على فكرة عروة من وتر كونى. فكما تم التعليق على بحثى عن الأوتار الكونية المتحركة، والمنشور أصلا فى "فيزيكال ريفيوليترز"، فى ذات اللحظة التى تدنو فيها عروة وتر كونى آخذ فى الانهيار من السرعة الحرجة التى تتيح السفر عبر الزمن، يتقلص محيطها بحيث تصبح – باعتبار كتلتها – منضغطة بشكل يمثل خطرا من تكوينها ثقبا أسود دوارا. لقد استعملت هنا ظاهرة تعرف باسم "حدسية الطوق (الطارة) " **Hoop Conjecture** التى اقترحها فيزيائى "كالتك" كيب ثورن[1] " لقد ناقش ثورن مسألة انضغاط كتلة مادية انضغاطا كافيا، بحيث قل طول محيطها – فى كافة الاتجاهات – عن محيط أفق الحدث لثقب أسود له نفس الكتلة، عندئذ سينهار الجسم دائما مكونا هو نفسه ثقبا أسود. وليس هذا برهانا على حتمية تكون ثقب

---

(١) فى عام ١٩٧٢ طرح كيب ثورن فكرة أن أى جسم يشكل ثقبا أسود فقط عندما يمكن وضع طوق دائرى ذى محيط يساوى المحيط الحرج وإدارته حوله. ويصل طول المحيط الحرج ٢ط × نصف قطر شفارتزفيلد المناظر لكتلة الجسم. (المترجم).

أسود فى هذه الحالة، ولكنها نقطة جديرة بالنقاش، إذ لم يوجد حتى الآن استثناء من "حدسية الطوق" لثورن. وبسبب الطريقة التى يعبر بها الجزءان المستقيمان كل منهما الآخر، فإن لعروة الوتر بعضا من الدفع الزاوى **Angular Momentum** وبالتالى ستكون العروة ثقبا أسود دوارا. فإذا تكون - كما هو متوقع - ثقب أسود، فإن أى حيز لإمكانية السفر عبر الزمن سيحاصر فى داخل الثقب الأسود. وهناك ثلاثة احتمالات لما يمكن أن تنتهى إليه الأمور:

١ - يسقط الشخص داخل الثقب الأسود الدوار ويلقى مصرعه (فيتمزق أشلاء بفعل التقوس اللانهائى للزمكان) قبل أن يتمكن من القيام بأى سفر عبر الزمان إلى الماضى.

٢ - يجوز أن يسقط الشخص داخل الثقب الأسود الدوار ويسافر إلى الماضى عبر الزمن، بيد أنه لن يتمكن من العودة (ليتباهى بين أصدقائه بما أنجز)، وفيما بعد سيصرع المسافر عبر الزمن ويتمزق إربا بفعل تقوس الزمكان اللانهائى.

٣ - يجوز أن يسقط الشخص داخل الثقب الأسود الدوار ويسافر إلى الماضى، ويخرج بعد ذلك إلى كون آخر (ربما كان هذا مصيرا أفضل، ولكنه لن يستطيع أيضا التفاخر بين أصدقائه).

فى عام ١٩٩٩ اكتشف الفيزيائيان سورين هولست (من جامعة استوكهولم) وهانز يرجن ماتشول (جامعة يوهان جوتبرج - ماينز - ألمانيا)، حلا مضبوطا لمعادلات أينشتاين على نطاق الأبعاد الصغيرة (العالم المسطح الأبعاد) حيث يمكن تطبيق هذا الاحتمال الثالث. إن آلة الزمن من النوع القائم على حلى يمكن أن تتكون، متوارية داخل ثقب أسود دوار، ويمكن لكائن ثنائى الأبعاد أن يسافر فى الزمن إلى الخلف فى نطاق الثقب الأسود ومن ثم يخرج إلى كون آخر مختلف.

بصرف النظر عن حقيقة استحالة تفاخرك فيما بعد، إذا شئت أن تبنى آلة زمان تتيح لك أن تدور حول عروة الوتر مرة ، وتسافر فى الزمن عاما إلى الوراء، فأنت فى

حاجة لعروة الوتر الكونى الهائلة هذه، التى تبلغ كتلتها نصف كتلة مجرتنا. افترض أننا – فى ظل مدنية أرقى – أمكننا أن نتحكم فى شكل العروة حتى اتخذت – هندسيا – هيئة مستطيل ملتو قليلا على وجه التقريب ، طول ضلعه الأفقى نحو ٥٤٠٠٠ سنة ضوئية وطول ضلعه العمودى حوالى ٠,٠١ سنة ضوئية ارتفاعا. سيتقلص المستطيل ، بحكم التجاذب بين ضلعيه العموديين ، هذا التجاذب الذى سيسبب استطالتهما. وبعد ٢٧٠٠٠ سنة من البدء ، سيبلغ طول كل منهما سنة ضوئية ارتفاعا ، وستصل بينهما أجزاء أفقية لا تزيد عن ١٠ أقدام طولا عند القمة والقاع. سيقترب الضلعان الرأسيان المستقيمان تقريبا ويعبر كل منهما الآخر، وهما يتحركان بسرعة تزيد عن ٩٩,٩٩٩٩٩٩٩٩٦٪ من سرعة الضوء. تعقب واحدا من أجزاء الوتر المستقيم بنفس هذه السرعة، وستجد أنك زدت فى العمر ٣ أشهر خلال رحلة ٢٧٠٠٠ عام. عند النقطة التى يتقابل فيها جزأى الوترين ، إذا انطبق الاحتمال الثانى فسيكون بمقدروك أن تدور حول جزأى الوترين الكونيين لدى مرورهما وأن تعود عاما إلى الوراء عبر الزمن ، ولكن عند هذه النقطة ستكون داخل أفق الحدث للثقب الأسود الذى سيكون آخذا فى التكون مع تمام انهيار العروة. ومن ثم فلن يمكنك العودة بأية حال.

والآن ، إن همك الأول هو تجنب الاصطدام بالمفردة، لذا فربما أردت أن تكرر السفر عبر الزمان إلى الماضى خلال وجودك داخل الثقب الأسود. فلنقل إنك درت حول الوترين ١١ مرة قبل أن تتوقف، كيف ترى ستبدو لك الرحلة كلها؟ عندما تصل أولا ، وتماما فى أثناء عبور جانبى عروة الوتر لبعضهما، سترى ١١ نسخة منك – فى عمر أكبر – ينتظرونك لتوديعك. سيقول لك الأول – الذى يكبرك بعام واحد "مرحبا .. لقد درت دورة واحدة حول الوترين بينما سيقول الثانى – وهو من يكبرك بعامين "مرحبا .. لقد درت حول الوترين مرتين" وهلم جرا. وبعد أن تتلقى ١١ تحية ستدور أنت حول الوترين، وعندما تعود ستجد (نفسك) وأنت تصيح محييا، وستستمر فى الدوران حول الوترين ١١ مرة وتقول "مرحبا .. لقد درت حول الوترين

١١ مـرة". عندئذ ، ولتـأكدك من أن ذلك لا يمكن أن يسـتـمـر إلـى الأبد (فليس هناك متسع داخل الثقب الأسـود لعدد لا نهائى من النسخ لك) ومن أنك لن تعود ثانيـة، فإنك ستقلـع عن الـدوران حول الوتـرين وتمضـى قدما نحـو المستقبـل .. إلى المفردة التى لا تعرف الرحمة.

تذكـر هـذه النتـيـجـة بموقف مماثل. قـبل بـحـثى بوقت طويل كـان الفـيـزيـائى البـريطانـى "براندون كـارتر" قـد تقـصـى الشكل الهندسى فى داخل ثقب أسـود دوار بسـيط لم يحـدث بـه تشـويش، كـالذى يمكن أن يتكون من انهـيـار نجم دوار. ليـست المفـردة هـنا نقطة ولكنهـا حلقـة صـغـيـرة، مما يؤدى بدوره إلى أكـوان أخـرى، وفـقـا لمعادلات أينشـتاين. وبعبـارة أخرى إذا سـافرت داخل مثل هذا الثقب الأسـود الدوار، فبمقدورك القفـز خـلال الحلقة والولوج إلى كون آخر، كما يمكنك تجنب القفـز داخل الحلقة مع الخروج أيضا إلى كون مـختلف. سـيشبـه هذا أن تستقل مصعدا لا يتـحـرك إلا إلى أعلى، ستغلق عليك أبواب المصعد (لا مـجال للعودة لأصدقائك فى الكون الكائن بالدور الأرضى). يمكنك أن ترصـد كامل التاريخ المسـتقبلى لكون الدور الأرضـى فى أثناء صعودك إلى الكون الكائن بالطـابق الثانى ، ويمكنك أن تغـادر المصعد وتزور هذا الكون، وهو مـخـتلف عن الكون الذى بدأت منه، إذا ما عدت إلى المصعد (أى رجـعت إلى داخل الثقب الأسود) أمكنك زيارة كون الطابق الثالث، وهكذا من حيث المبدأ يمكن أن تزور ما لا نهاية له من الأكوان.

على أن كارتر قد اكتشف ما هو أكثر (إن البحث فى هذه الحلول يشبـه تطريزك للحـاف ، فإنك تستمـر فى خيـاطة الأجـزاء متبعـا النموذج المفـروض، ثم تنظـر إلى ما تحـصل عليه). الزمكان فى داخل الثقب الأسـود الدوار بالقرب من المفردة الحلقية ، ملولب بشـدة ، لدرجـة أنه يمكنك القـفـز خـلال الحلقة والتـحليق حـولك فى اتجـاه مـواز لمحـيطها لكى تسـافـر إلى الماضـى عـبـر الزمن. ويخلق هذا حـيزا للسـفـر عـبـر الزمن محصورا داخل الثقب الأسود. فها هى طريقة أخرى تسمح فيها معادلات أينشـتاين بالسفر عبر الزمن.

سيتحول أى فوتون يقع داخل الثقب الأسود من كوننا إلى الناحية الزرقاء من الطيف ويصبح ذا طاقة عالية على كل حال. قد ترتطم هذه الفوتونات التى يمكن أن تقتلك وأنت متجه لتثب خلال المفردة الحلقية. ومن الوجهة النظرية فإن الفوتونات التى تدخل الثقب الأسود فى المستقبل المتناهى البعد ستنزاح صوب الأزرق إلى ما لا نهاية وتخلق (مفردتها) الخاصة بها، مغلقة أمامك الطريق إلى حيز السفر عبر الزمن. على أن أعمال الفيزيائيين "آموس أورى" من كالتك، "وليور بوركو" من معهد تكنيون الإسرائيلى للتكنولوجيا تشير إلى أن المرور خلال هذه المفردة إلى حيز السفر عبر الزمن ربما يبقى فقط مجرد احتمال جائز؛ لأن المفردة التى تتكون نتيجة الفوتونات الآتية تكون ضعيفة. فأولا نتوقع ألا يستمر التعاظم فى الانحناء إلى ما لا نهاية، لتشوهه نتيجة ظواهر الكم، وبالتالى سيرتفع مقدار الانحناء حقا بشدة، ولكن حتى مستوى محدود (ونشير إلى هذا بتعبير القريب من اللانهاية)، وثانيا؛ لأن تنامى الانحناء يتم بسرعة بحيث إن القوى المدية(٨) المصاحبة لذلك ربما لا تؤدى إلى تمزقك إربا إربا (فلن يكون لديها الوقت ببساطة لتنقل رأسك أو قدميك كثيرا فى أثناء مرورك. ويناظر هذا تخطيك – وأنت فى سيارتك – لعائق موضوع فى الطريق للحد من السرعة. صحيح أنك ستعانى ارتجاجا عنيفا ولكنك ستتجاوز ذلك وتبقى على قيد الحياة. وللتعرف إلى التفاصيل الدقيقة لهذه العملية فنحن فى حاجة إلى نظرية عن جاذبية الكم (والتى لم نكتشفها بعد). وكما قال كيب ثورن فى كتابه "الثقوب السوداء"(٩)، "قوة الدفع عن طريق الانفتال": "سيبقى رائد الفضاء على قيد الحياة دون أن يصيبه أذى تقريبا حتى يصل – على الأرجح – إلى حافة مفردة جاذبية الكم، وفقط عند حافة المفردة حين يجابه – وجها لوجه – قوانين جاذبية الكم. هناك يلقى رائد الفضاء مصرعه، ولن يمكننا حتى التأكد بصورة مطلقة من مصيره، حيث إننا حقيقة لا نعى بالمرة قوانين جاذبية الكم ولا توابعها وعواقبها.

تبقى إمكانية أخرى للسفر عبر الزمن: فى عام ١٩٧٦ وجد الفيزيائى "فرانك تبلر" (وهو الآن فى جامعة تولين) أنه إذا كان لديك أسطوانة ذات طول لا نهائى يدور

محيطها بسرعة خطية تقارب سرعة الضوء فبمقدورك الرجوع فى الزمن إلى الوراء بتحليقك حول هذه الأسطوانة (إن هذا الحل يغمرنى بحافل الذكريات عن الوترين الكونيين اللانهائيين وأحدهما يعبر الآخر).

أثبت تيبلر، ثم هوكنج فيما بعد بعض المبرهنات التى تطرح أنه – فى حالات معينة – يمكنك أن تخلق مفردات بمحاولة تكوين آلة زمن داخل نطاق محدود لم يسبق التواجد فيه.

(أشار تبلر إلى أنه على الرغم من أن الكون ربما يكون غير محدود، فبمقدور البشر التحكم فى نطاق محدد منه ، ويعلم تبلر أنك إذا أنشأت آلة زمان حيث لم يتواجد أحد من قبل فينبغى لك أن تعبر أفق كوشى لتدخل نطاق السفر عبر الزمن. فحص تبلر كيف ستبدو عندئذ هيئة "أفق كوشى " إذا لم تكن كثافة الكتلة / الطاقة أبدا سالبة. لو كان أفق كوشى ممتدا بلا نهاية فليس ثمة مشكلة ، ولكن لو كان الأفق محدودا، فقد بين تبلر أنه لابد وأن ينتهى فى مكان ما من الماضى إلى مفردة. وهكذا، إذا ما عبرت "أفق كوشى" أمكن أن تنظر إلى الماضى على امتداد "أفق كوشى" وأن تشاهد مفردة. كان الاعتقاد العام أن مثل هذه المفردة يمكن أن تلفظ كل أنواع الجسيمات الأولية التى من شأنها أن تقتلك. ولكن النقاش برهن على وجود مخرج(١٠). بحثنا فيما مضى وجود مفردة تراها عندما تنظر إلى الماضى ولا تقتلك؛ إنها مفردة "الانفجار الأعظم" عند بداية نشأة الكون، وهكذا ليس النظر إلى المفردة – بالضرورة – مجلبة للهلاك.

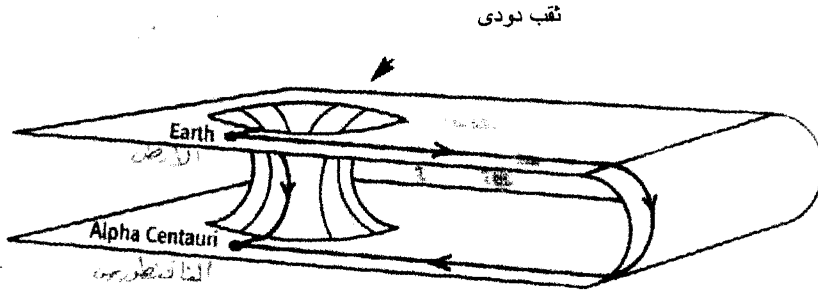
إنه أمر مثير للانتباه! على أن النظر إلى مفردة لا يمثل إلا مشكلة واحدة، إذا تواجدت – فقط – مادة معتادة ذات كثافة موجبة (مثل كل ما اعتدنا على رؤيته كالبروتونات، والنيوترونات، والإلكترونات والإشعاع الكهرومغناطيسى) فعندئذ سيظهر أفق كوشى بصورة غير مستقرة ، بمعنى أن أى موجة مثيرة للاضطراب تدور حول أفق كوشى سوف تستمر شدتها فى التنامى بحيث يتعذر التنبؤ بما ستصير إليه الأمور. ربما حاولت حضارة مستقبلية أكثر منا رقيا أن تتعامل بكفاءة لتسيطر على

عدم الاستقرار هذا (وكمثال، فالقلم الرصاصى المرتكز على سنه فى وضع غير مستقر، ولكن إذا كان لديك ما يكفى من السرعة واللماحية بمقدروك أن تسنده عند نقطة ارتكازه بيدك، وأن تبقيه - بتحريكه إلى الخلف والأمام قائما فى وضع عمودى. وتتعمد بعض التصميمات وجود عدم استقرار فى الطائرات المقاتلة الحديثة فى أثناء تحليقها لزيادة قدرتها على المناورة ، وذلك اعتمادا على الحاسب الآلى فى التحكم باقتدار فى هذا القدر من عدم الاستقرار). وفى حالة الثقب الأسود يتعذر تطبيق ذلك عمليا. فإذا حصل عدم استقرار فإن المفردة تسد السبيل حقا أمام المسافر عبر الزمان لعبور أفق كوشى ، ولن يقتصر الأمر على مجرد مشاهدة المفردة على بعد، ولكن هناك أيضا خطر الاصطدام بها. وكما ذكرنا فيما سبق ، تعوزنا نظرية فى جاذبية الكم ، لنعرف ما إذا كان رائدنا الفضائى سيتمكن من اختراق حاجز السرعة لدى المفردة ليمرق إلى نطاق السفر عبر الزمن ، وعلى جميع الأحوال تبدو الرحلة من الخطورة بمكان. بيد أن هناك احتمالات أرحب لعمل آلات زمن تمكننا من الالتفاف حول الصعوبات التى ذكرنا.

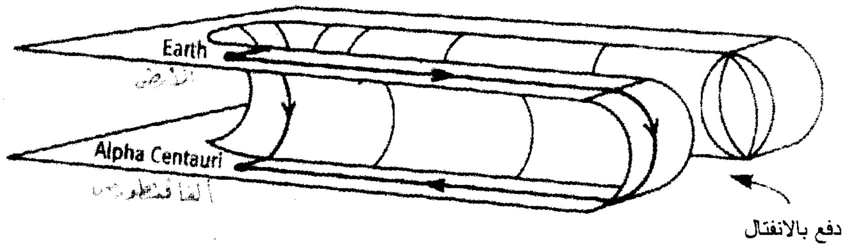
الثقوب الدودية Wormholes

فى عام ١٩٨٨ بين كيب ثورن ورفيقاه فى "كالتك" مايك موريس، وأولفى يورتسيفر كيف يمكن تحقيق السفر عبر الزمن إلى الماضى بالاستفادة من الثقوب الدودية ، والثقوب الدودية - كما مر بك فى الفصل الأول - هى أنفاق تصل بين نطاقين (أو حيزين) متباعدين من الزمكان. فكر فى الثقب الذى تحدثه الدودة فى التفاحة ، تستطيع الدودة أن تنفذ من جانب التفاحة إلى الجانب الآخر إذا ما مضت فى خط مستقيم مع الثقب الذى تصنعه بأسرع مما تصل إذا ما زحفت عبر سطح التفاحة المنحنى .. ربما وجدنا ثقبا دوديا له فوهة بالقرب من نجم ألفا قنطورس (شكل ١٥ الأعلى). يمكن للمرء عندئذ أن يصل إلى كوكب قريب من ألفا قنطورس بإحدى وسيلتين: ١ - أن يسلك الطريق الطويل المألوف الذى يصل إلى ٤ سنوات ضوئية عبر الفضاء المعتاد أو ٢ - أن يقفز فى الثقب الدودى الذى ربما لا تمتد الرحلة فيه إلا ١٠ أقدام.

ثقب دودى



يخلق الثقب الدودى مسلكا مختصرا من الأرض إلى نجم ألفا قنطورس



يخلق الدفع بالانفتال تشوها فى الزمكان يشبه حرف U ، كما يخلق مسلكا مختصرا من الأرض إلى نجم ألفا قنطورس

شكل رقم (١٥) الشكل الهندسى لكل من الثقب الدودى والدفع بالانفتال

ولكن .. كيف سيبدو ذلك الثقب الدودى؟ يبدو الثقب الأسود ككرة (البولنج) السوداء الكبيرة (إذا قفزت داخل هذه الكرة، فلن تعود ثانية)، أما الثقب الدودى - ونظرا لقصر طول نفقه - فإنه يبدو كأحد كرات المرايا التى تجدها أحيانا بالحديقة ، تعكس صورة إجمالية للمناظر الطبيعية حولها. صحيح أنه لن تكون حديقتك الأرضية هى التى ستتجلى أمام ناظريك فى كرة الثقب الدودى ولكن واحدة بالقرب من الألفا قنطورس. اقفز داخل هذه الكرة، ومثلك مثل (أليس فى بلاد العجائب) ستجد نفسك تتقلب ولكن فى مكان جد مختلف، فى حديقة على سطح كوكب قرب ألفا قنطورس. من هناك، وعندما تنظر للخلف إلى الكرة ستشاهد "حديقتك الأرضية". ويزودك الثقب الدودى بمخرج ذى طريقين. (هناك رسم مشهور للرسام إشر (شكل ١٦) يرينا كيف سيبدو شكل فوهة ثقب دودى فى الفضاء العميق إذا كانت الفوهة الأخرى موجودة بغرفة على الأرض. عندما تنظر إلى الفوهة الكروية فى الفضاء العميق فإنك لا ترى انعكاسا، ولكن بدلا من ذلك، فإنك سترى - عبر نفق الثقب الدودى القصير - صورة مشوهة لتلك الغرفة على الأرض). لقد رسم "إشر" هذه الصورة عام ١٩٢١، أى قبل أن يقترح "ثورن" ومعاونوه الثقوب الدودية بزمن طويل.

يستغرق شعاع الضوء ٤ سنوات ليصل من الأرض إلى نجم ألفا قنطورس إذا سلك الطريق المعتاد عبر الفضاء، ولكن يمكن أن تسبق شعاع الضوء إلى ألفا قنطورس إذا سلكت طريقا مختصرا عبر الثقب الدودى. وكما كان الحال مع الأوتار الكونية، طالما أمكنك أن تسبق الشعاع الضوئى بهذا الاختزال للطريق، فمجال السفر عبر الزمن إلى الماضى مهيأ لك.

إذا وفقت إلى ثقب دودى يصل الأرض بألفا قنطورس، أمكنك أن (تغوص) خلاله سنة ٣٠٠٠ منتهيًا إلى ألفا قنطورس. ولكن متى؟ لن تبلغه فى سنة ٣٠٠٠ ولكن ربما - بدلا من ذلك - فى عام ٢٩٩٠، فإذا وصلته فى هذه السنة، ألا يمكنك العودة إلى الأرض - بسرعة تساوى ٩٩,٥٪ من سرعة الضوء وبلوغها بعد أربع سنوات تقريبا أى عام ٢٩٩٤؟ إنك ستصل الأرض قبل أن تكون قد غادرتها بست سنوات. يمكنك قضاء هذه الأعوام الستة على الأرض حتى تحين لحظة انطلاق رحلتك سنة ٣٠٠٠،

فتصافح (نفسك) مودعا، وهكذا تكون قد حققت سفرا عبر الزمن إلى حدث وقع فى ماضيك أنت.



شكل رقم (١٦) الكرة (رسم م.ك إشر - ١٩٢١) كيف تبدو فوهة الثقب الدودى

ولكن .. فلنفترض - بدلا من ذلك - أنه تم توحيد التوقيت عند فوهتى الثقب الدودى (طالما أن نجم ألفا قنطورس والأرض لا يتحركان بسرعة كبيرة بالنسبة لبعضهما، فإن الراصدين على سطحيهما يمكنهم ضبط توقيت ساعاتهم وتوحيد الزمن الذى تشير إليه). عندما تثب داخل فوهة الثقب الدودى يوم ١ يناير عام ٣٠٠٠، فإنك ستخرج منه إلى ألفا قنطورس أيضا فى ١ يناير ٣٠٠٠ (لا سفر عبر الزمن هنا). لقد بين ثورن ومساعدوه إمكانية اختلاف التوقيت لدى الفوهتين، بعمل دوامة سحب أو جر dragging حول فوهة الثقب الدودى القريب من الأرض بسرعة تقارب سرعة الضوء. ومن الممكن إنجاز ذلك بإحضار مركبة فضاء ثقيلة بالقرب من تلك الفوهة، فببساطة ستهوى الفوهة بفعل الجاذبية ناحية مركبة الفضاء. وعندما تشتعل محركات الصورايخ وتتسارع حركة المركبة، فإن فوهة الثقب الدودى ستتبع - كما الكلب الأمين - حركتها. وبهذه الطريقة بمقدورك أن تجبر الفوهة على التحرك بسرعة ٩٩,٥٪ من سرعة الضوء. فإذا بدأت فى ١ يناير عام ٣٠٠٠، فيمكنك اصطحاب فوهة الثقب الدودى فى رحلة إلى نقطة تبعد ٢,٥ سنة ضوئية، والقيام بدورة حول هذه النقطة بسرعة ٩٩,٥٪ من سرعة الضوء. سيرصد المراقبون على الأرض أن هذه الرحلة (الدورة) لمسافة ٥ سنوات ضوئية قد استغرقت ٥ أعوام، وستعود مع عودة الفوهة ثانية فى ١٠ يناير ٢٠٠٥.

تخيل رائد فضاء وهو جالس فى وسط نفق الثقب الدودى ومعه ساعة. سيرى الراصدون على الأرض أن ساعته تدق ببطء شديد ، فالزمن لديه يبلغ ١٠ أمثال معدل ساعاتهم لأنهم يرونه مسافرا جيئة وذهابا (ومعه الفوهة) بسرعة ٩٩,٥٪ من سرعة الضوء (فلنستعد المعلومة التى تخبرنا بها النسبية الخاصة، من أن مثل هذه الساعة المتحركة تدق بسرعة أبطأ، والساعة التى تتحرك بسرعة ٩٩,٥٪ من سرعة الضوء فى هذه الرحلة تدق بمعدل = ١/١٠ معدل ساعات الأرض لأن المعامل الذى وضعه أينشتاين (١- (ع/س)٢)١/٢ يساوى ٠,١ فى هذا الحالة ..عندما تعود "الفوهة" إلى الأرض سيكون رائد الفضاء قد تقدم فى العمر نصف عام منذ انطلاقه وهى ١/١٠

مـدة الخـمس سنوات. في خـلال نفس الوقت لن تكون (الفـوهة) بالقـرب من ألفـا قنطورس قد تحركت أو تحرك شيء حولها. وعلاوة على ذلك فلن يتغير طول نفق الثقب الدودى خـلال تلك الرحلة كلهـا عن ١٠ أقدام، وطالما أن الكتلة والطاقة فى نفق الثـقب الدودى لم تتـغيرا، فإن معـادلات أينشـتاين تـخبرنا أن شكله الهندسى لن يتـغير هو الآخـر، بل سـيبـقى مـحـتـفظا بنفس الطول، وإن تغيـر فقط الموضـعـان اللذان يصل بينهمـا. فلننتظر حتى تعود فوهة الثقب الدودى قرب الأرض. نحن الآن فى ١٠ يناير ٣٠٠٥ (على الأرض). بمقـدورك أن تثب داخل الثـقب الدودى وتنتـقل لمسافـة ٥ أقدام وتقابل رائد الفضـاء الجالس فى وسطه. ستجده قد (شـاخ) لفترة ٦ أشـهر فقط خلال رحلته وتشير ساعتـه إلى ١ يوليو عـام ٣٠٠٠، فإذا انتقلت ٥ أقدام أخـرى فستـخرج بالقرب من ألفا قنطورس وسـتجد تاريخ اليوم أيضـا ١ يوليو عـام ٣٠٠٠ هناك. لم؟ لأن رائد الفضـاء - وكما سيرى من ناحية ألفا قنطورس - غير مـتحرك، وساعته التى سـجلت مـرور زمــن قـدره ٦ أشـهـر من البـداية سـتبـقى مـتـزامنة مـع سـاعـات ألفـا قنطـورس. فـإذا خـرجت قـرب ألفـا قنطـورس فى ١ يوليـو ٣٠٠٠ فـيـمكنك أن تسـتـقل مـركـبـة صـاروخـيـة (دورية) وترجـع إلى الأرض بالطريق المنتظم عن طريق الفـضــاء الاعتيادى. وبسرعة ٩٩,٥٪ من سرعة الضوء يمكنك أن تصل هناك بعدما يزيد بقليل على ٤ سنوات - فى ٨ يوليو من عام ٣٠٠٤ سـتـعود أدراجك قبل أن تكون قـد بدأت رحلتك بمـا يقرب من ٦ أشـهر. انتظر - فى صـبـر - على الأرض حـتى ١ يناير عـام ٣٠٠٥ ويمكنك سـاعـتـهـا أن تصـافح (نفسك) أثنـاء تأهبـهـا للسـفـر - لقد أمـكنك زيارة حدث فى ماضيك.

فى هذه الحـالة - كمـا فى حـالة الأوتار الكونيـة المتـحـركة - هنـاك حقبـة زمنيـة لا يمكن قـبلهـا السـفـر عـبـر الزمن. إذا عشـت على الأرض عـام ٣٠٠٥، فـبـمـقـدورك أن تسـتـخـدم آلة الزمن لتـزور الأرض عـام ٣٠٠٤ (ولكن ليس عـام ٢٠٠١ لأنه كـان قـبل اختراع آلة الزمن). إن شخـصـا على الأرض فى العام ٢٠٠١ لن يرى مسـافـرين عبـر الزمن، ولكن ربمـا ارتطم بهم راصـد على الأرض عـام ٣٠٠٤ . بعـد أن يتم اسـتـحـداث

اختلاف زمنى كاف فى التوقيت بين فوهتى الثقب الدودى، فبالإمكان السفر عبر الزمن. ولكن فيما بعد ربما عام ٣٥٠٠ إذا كان لنا أن نحرك فوهة الثقب الدودى على ألفا قنطورس، فربما أمكننا إيجاد اختلاف فى التوقيت بين الفوهتين، منهين حقبة السفر عبر الزمن. يمكننا والحالة هذه أن ندمر آلة الزمن بعد أن نكون قد بنيناها. يمكنك فقط استعمال آلة الزمن فى حالة وجودها.

نحن فى حاجة إلى مادة غير مألوفة لكى نبقى على الثقب الدودى مفتوحا بحيث يمكن للمسافر عبر الزمان أن يمر خلاله. إن أشعة الضوء المتجمعة لدى فوهة الثقب الدودى ناحية الأرض تمر خلال الثقب الدودى فى حين تتشتت هذه الأشعة لدى مخرج الثقب الدودى قرب ألفا قنطورس. هذه هى العلامة المميزة لظواهر الدفع الناجمة عن المواد ذات كثافة طاقة سالبة، فلابد لك من أن تضيف طاقة كى تصل إلى طاقة تساوى صفرا. ومما يثير الدهشة، أن هناك من ظواهر الكم ما ينتج حقا كثافة طاقة سالبة. وعلى ذلك يأمل "ثورن" ورفقاؤه أن تتمكن حضارة أرقى فى المستقبل من استخدام تلك الظواهر الكمية فى الإبقاء على الثقب الدودى مفتوحا. وهناك مشكلة أخرى يجب حلها: كيف ستثبت فوهتى الثقب الدودى حيث تريد. ربما كانت هناك فعلا ثقوب دودية متناهية الصغر (ميكروسكوبية) يصل عرضها إلى ١٠-٣٣ من السنتيمتر، تصل - فى الوقت الراهن - ما بين مواقع وأزمان فى الزمكان. ولعل الحضارة الأرقى تستطيع توسيع أحد هذه الثقوب الدودية الميكروسكوبية، بما يتيح لمركبة فضائية أن تمرق خلالها.

ولما كانت الثقوب الدودية تبقى مفتوحة بفعل المواد ذات كثافة الطاقة السالبة فإنها تكون مستقرة، وتتحاشى المفردات التى تستلزمها مبرهنة "تبلر". ويمكن أن ننشئ آلة زمان دون خطورة تكون ثقب أسود، وعلى كل حال فهى معرضة لظواهر الكم التى ربما تتدخل فى أثناء عملها، وهى النقطة التى سوف أعود إلى إثارتها فى الباب الرابع.

الدفع بالانفتال Warpdrive

هناك إمكانية شبيهة بحل الثقب الدودى يمكن بها السفر عبر الزمن: الدفع بالانفتال (سبقت الإشارة إليه فى الباب الأول). فى العرض السينمائى "رحلة النجوم" استخدم طاقم المركبة "انتربرايز" الدفع بالانفتال لتغيير الفضاء حتى يمكنهم السفر بين النجوم (١١) بسرعة أعلى من سرعة الضوء. حمل الفيزيائى الويلزى "ميجل ألكوبيير" هذه الفكرة على محمل الجد ، مبينا كيف يمكن أن يفلح الدفع بالانفتال باستخدام أساسيات النسبية العامة. فى هذه الحالة بمقدورك أن تسلك مسارا طوله ٤ سنوات ضوئية من الأرض إلى ألفا قنطورس وتفتل (تبرم) الفضاء بحيث تكون المسافة عبر الأنبوبة الناتجة ١٠ أقدام فقط.

ولنتخيل الأمر على هذه الصورة: تصور أن نملة تعيش(١٢) على السطح العلوى لمائدة غرفة الطعام ، وتريد أن تزور نملة أخرى تعيش على سطحها السفلى. لزيارة هذا الصديق يمكنها أن تزحف لمسافة قدمين حتى أقرب حافة للمائدة وتسير لمسافة نصف بوصة عموديا عبر الحافة، وتمشى لمسافة قدمين أخريين حتى تصل إلى مركز سطح المائدة السفلى. لقد بلغت المسافة الكلية التى قطعتها ٤ أقدام ونصف بوصة، ولكن لو أمكنها عمل ثقب بالمائدة والزحف مسافة نصف بوصة لوصلت لصديقتها مباشرة. هذا هو حقا "الثقب الدودى". والطريقة الثالثة للوصول إلى السطح السفلى هو أن تستعمل منشارا منحنيا (المستخدم فى عمل النماذج) لتشق فى المائدة شقا بطول قدمين ما بين مركز المائدة وحافتها. وفى هذه الحالة ستزحف النملة لنصف بوصة خلال الشق لتزور صديقتها ، وسيبلغ طول رحلتها أيضا نصف بوصة. وبالنسبة للنمل الزاحف على سطح المائدة العلوى فإنه يبدو لهم كما هو، مادام لم يتجرأ على الدنو من الشق. فلو أن المائدة مصنوعة من مطاط لين، لأمكن تشكيلها أو فتلها لإحداث الشق دونما حاجة إلى نشرها ، فقط اضغط بقوة على حافة السطح العلوى المطاطية لمسافة قدمين إلى الداخل فى اتجاه المركز، فبدون أن تغير من بنية

المائدة (أنت لم تحدث أية ثقوب بها) تكون قد غيرت من شكلها بفتلها، ومن هنا جاءت التسمية: قوة الدفع بالانفتال.

إذا تأملت شكل ١٥، سترى التماثل بين الشكل الهندسى للثقب الدودى (الرسم العلوى) والشكل الهندسى للدفع بالبرم (الرسم السفلى). لإعداد الشكل الهندسى الضرورى للطريق المختصر للدفع بالانفتال من الأرض إلى ألفا قنطورس، وجد "ألكوبيير" أنه يحتاج إلى كل من المواد المعتادة ذات كثافة الطاقة الموجبة وكذلك بعض المواد غير المألوفة ذات كثافة الطاقة السالبة. وطبقا للحل الذى أوجده، فإن مسارا أنبوبيا مفتولا فى الزمكان سيؤدى بك سريعا إلى ألفا قنطورس، كما أن فتلا آخر يتيح لك العودة إلى الأرض بسرعة كذلك (يمكنك أن تتوجه إلى ألفا قنطورس ثم تعود لتناول الغداء على الأرض فى ذات اليوم)، توصل "ألكوبيير" إلى أن حله عن طريق الدفع بالفتل يسمح لك أن تسبق شعاعا ضوئيا، وعلى ذلك فإن إدخال بعض التعديلات اللازمة كفيل بالاهتداء لحل يسمح بالسفر عبر الزمان إلى الماضى، ولكنه لم يذكر كيف. بعد فترة وجيزة، وباستعمال برهان يماثل ما استخدمته مع الأوتار الكونية، بين "ألن ايفيريت من جامعة تافتس كيف أمكنه تصميم طريقين مختصرين متحركين(١٣) يحققان قوة الدفع بالفتل ويتمان السفر عبر الزمن إلى الماضى.

وهكذا يبدو أن "جين رودنبيرى" مبتدع مسلسل رحلة النجوم كان على حق فعلا حين ضمن كل تلك الحلقات عن السفر عبر الزمن. ومن سوء الطالع – على كل حال – أن الفيزيائى الروسى سيرجى كراسنيكوف. عارض ذلك موضحا أن مركبة الإنتربرايز لن تستطيع خلق مسارها عن طريق قوة الدفع بالفتل إلى أى مكان تريد كما ظهر فى العرض السينمائى. فمثل ذلك المسار لابد أن يهيأ مقدما بسفن فضاء تتحرك بسرعة أقل من سرعة الضوء وإنما ستكون الانتربرايز أشبه بقطار مقيد يتحرك على سكة قضبان سبق سلفا إعدادها، منها بمركبة تتجول على سطح الأرض بحرية وجرأة وحدها. ربما أرادت الحضارة الفائقة المستقبلية أن تعبد مسارات للدفع بالفتل بين النجوم لتطوف سفن الفضاء فيما بينها، مثلما تنشئ وصلات من ثقوب

دودية بين النجوم. ربما كانت شبكة من سكك الدفع بالفتل أسهل في إنشائها من سكة الثقب الدودي؛ لأن الدفع بالفتل يتطلب فقط تغيير الفضاء الموجود وليس بناء ثقوب جديدة تصل ما بين المناطق البعيدة عن بعضها.

صعوبات السفر عبر الزمن إلى الماضي

لكل من الطرق المطروحة للسفر إلى الماضي صعوباتها، لذا فدعنا نتناول فكرة أخرى للتواصل مع الماضي: التاكيونات، وهي جسيمات افتراضية تتحرك بسرعة أعلى من سرعة الضوء. ولكن كيف؟ ألم نتفق فيما سبق على استحالة التحرك بسرعة تفوق سرعة الضوء؟ (١٤) بلى، وإنما الذي ينبغي أن يتحرك بأبطأ من الضوء هو تلك الجسيمات المعتادة التي يتركب منها بدنك وبدني (البروتونات، والنيوترونات، والإلكترونات) وإلا لانتهكنا مسلمة أينشتاين التي تقول إن على كل الراصدين أن يفكروا في أنفسهم كأجسام غير متحركة، والفوتونات تنتقل في الفراغ الخاوي دائما بسرعة الضوء.

ولكن - كما فعل الفيزيائيون س. تاناكا، أ.م.ب. بيلا نيوك، ف.ك. ديشباندا، أ.ك.ج. سودارشان في بدايات الستينيات - دعنا نتخيل جسيما يتحرك دائما بأسرع من سرعة الضوء (أطلق الفيزيائي الأمريكي جيرالد فاينبرج على هذا الجسيم اسم "التاكيون" والمشتق من كلمة يونانية معناها "فائق السرعة"). وطالما كانت التاكيونات قادرة على أن تسبق أشعة الضوء جيئة وذهابا، فيمكن للمرء - بمعونة رائد فضاء صديق - أن يستخدم التاكيونات لإرسال إشارة إلى ماضيه هو. وقد كانت تلك هي الفكرة الأساسية التي استعملها جريجوري بنفورد في روايته من الخيال العلمي **Timescape** (الفرار إلى الماضي) عام ١٩٨٠، ترى هل يفلح تطبيق ذلك على أرض الواقع؟

يمكن أن تتوافق التاكيونات مع النسبية الخاصة، على أن معادلات النسبية العامة تشكل معضلة، فالتاكيون تصاحبه موجات جاذبية(١٥) تماما كما تخلق الطائرة عند تخطيها سرعة الصوت حاجزا صوتيا، ولقد وجدت فى عام ١٩٧٤ أن التاكيون لابد وأن يطلق "مخروطا" من الإشعاع الجاذبى ينسحب وراءه. ولقد استخدمت فى الوصول إلى ذلك نتيجة سبق أن توصل إليها ف.ك جونز فى سنة ١٩٧٢ (إلى جانب حلى أنا لمعادلات أينشتاين للمجال بالنسبة للتاكيون فى سياق بحث آخر). وسيتسبب هذا الإشعاع فى فقدان التاكيون لطاقته، وبسبب الطبيعة غير المألوفة للجسيم الافتراضى، ستتزايد سرعته أكثر فأكثر. وتمشيا مع رؤية جونز فإن "خط عالم" الجسيم خلال الزمكان سينحنى مثل طاق عريض. ويمكننا أن نرى جانبى الطاق المائلين حينما يتقارب التاكيون والتاكيون المضاد من بعضيهما بسرعة تزيد بالكاد عن سرعة الضوء، وتتزايد كلما اقتربا أكثر، إلى أن يبلغا سرعة لا نهائية عندما يصطدمان ويفنى كل منهما الآخر عند قمة الطاق. بعد ذلك، لن تكون هناك تاكيونات. ولأن خطوط عالم التاكيون ستتقوس بهذا الشكل، ستقضى التاكيونات معظم الوقت متحركة بسرعة بالكاد فوق سرعة الضوء. ولهذا لا يمكن استعمال التاكيونات فى إرسال طاقة(١٦) أو معلومات بأسرع من سرعة الضوء لمسافات ماكروسكوبية (عيانية).

ثم ها هو مقترح أخير للسفر عبر الزمن للماضى باستخدام الجسيمات المضادة. فى وقت متأخر ذات ليلة، كلم جون هويلر فى برنستون ريتشارد فيينمان وهتف وهو منفعل: "الآن عرفت لماذا كان لجميع الإلكترونات نفس الكتلة. إن كل الإلكترونات هى نفس الإلكترون!".

كانت فكرة هويلر أن البوزيترون (وهو الجسيم المضاد للإلكترون، له نفس الكتلة ولكن بشحنة معاكسة). يمكن اعتباره إلكترونا متحركا - زمنيا - إلى الوراء. ولكى نفهم هذه الفكرة فلنتخيل أنا نرسم حرف **N** هائلا فى رسم بيانى للزمكان حيث يمثل الاتجاه إلى أعلى المستقبل وإلى أسفل الماضى، ويمثل المحور الأفقى البعد المكانى. ابدأ من أسفل اليسار وحرك إصبعك إلى أعلى فى ضلع حرف **N** الأول لترسم خط

سير إلكترون يتحرك نحو المستقبل، ثم حرك إصبعك قطريا إلى أسفل لترسم مسار بوزيترون وهو ما يؤول إلى إلكترون عائد القهقرى فى الزمن. وفى الختام ارسم الخط الأخير إلى أعلى وهو مسار الإلكترون مرة أخرى. إن خط العالم هذا الذى يأخذ شكل حرف N فى الزمكان يمثل لنا العرض السينمائى التالى: امسح بمسطرة أفقية تتحرك ببطء إلى أعلى بدءا من أسفل حرف N حتى أعلاه، سنشاهد إلى اليسار إلكترونا ساكنا لا يتحرك وإلى اليمين سنشاهد تخلق زوج من إلكترون وبوزيترون، حيث يتحرك البوزيترون من اليمين إلى اليسار ليقابل فى النهاية الإلكترون الموجود إلى اليسار عند النقطة التى يفنى عندها كل منهما الآخر. يمكننا - ببساطة أن نؤول حرف N إلى ثلاثة جسيمات - إلكترونين وبوزيترون - تتحرك ثلاثتها إلى الأمام فى اتجاه الزمن الموجب. فكر "هويلر" فى أن الإلكترونات فى كوننا هى جزء من خط عالم طويل يتردد ما بين الأمام والخلف فى الزمان فى شكل خط متكسر عدة مرات. وكل انكسارة فى مساره تبدو كإلكترون آخر، وكل انكسارة معاكسة فى عكس الاتجاه تمثل بوزيترونا. والزوايا التى تلتقى عندها الخطوط المتكسرة تمثل إما مولد أو هلاك زوج من الإلكترون والبوزيترون.

لكى تفلح هذه الفكرة، ينبغى أن يكون عدد البوزيترونات والإلكترونات فى الكون فى أى وقت متساويا تقريبا. ولسوء الحظ فإن عدد الإلكترونات التى تبدو موجودة فى الكون فى حقبتنا الراهنة يفوق بكثير عددد البوزيترونات. ورغم ذلك فإن فكرة اعتبار البوزيترونات إلكترونات تتحرك إلى الوراء فى الزمان تبدو صالحة، وقد انتهى الأمر إلى أن استخدمها فيينمان فى رسوماته البيانية لإلكتروديناميكيات الكم، تلك التى نال بفضلها جائزة نوبل.

لكى تستعمل أنت هذه الوسيلة للسفر إلى الماضى عبر الزمن، ولكى تنشئ لنفسك خط عالم على هيئة حرف N فهناك حاجة إلى أن تقع حوادث يندر احتمال وقوعها إلى أقصى حد. فأولا قرب الموضع الذى أنت فيه، ومن طاقة عدة آلاف من القنابل الهيدروجينية، يجب أن يخلق زوج مكون منك ومن شخصك المضاد. فقرينك أو مثيلك

الطيفى هذا يمثل خطك المتعرج فى الخلفية مع الزمن، أما (أنت) فتمثل استئناف السير قدما إلى الأمام مع الزمن. فكل من هذين القرينين سيعيدان إنتاج نسخة منك حتى مستوى الذرة. عندها سيأتى شخصك المضاد ليتقابل معك. هذا الترتيب (كيف يتأتى لكل جسيم فى شخصك المضاد أن يفنى الجسيم المناظر له فيك أنت، بحيث إن الطاقة المنتجة لا تبعثر هيكلك الجسدى قبل أن تتم عملية الإفناء) تصل صعوبته إلى درجة الاستحالة، ولذا فإذا رأيت بديلا مضادا من شخصك يندفع نحوك ففكر مرتين قبل أن تأخذه بالأحضان.

على أفضل الأحوال يبدو السفر عبر الزمان إلى الماضى بالغ الصعوبة، فأجل الاتصال بوكيلك الذى يتولى تنظيم سفرياتك الآن. إن مجرد محاولة إنجاز هذا المشروع تتطلب ظروفا قصوى. فليست آلات الزمان لزيارة الماضى بالشىء الذى يمكن تركيبه فى مرآبك ولا باستخدام حاسبك الآلى، بل إنها - كما ذكر كيب ثورن - على أحسن الأحوال مشروع يصلح لحضارات مستقبلية متطورة عنا. على أن الفيزيائيين يبذلون طاقاتهم فى استكشاف إمكانيات السفر عبر الزمن أساسا لسبب مستحق: كما علقت سابقا إننا شغوفون باختبار حدود قوانين الفيزياء تحت الظروف القصوى. وكما يلاحظ الفيزيائيون غالبا (وبشكل خاص عندما يعوزهم المال لبناء مسارع جسيمات جديد). لقد كان الكون ذاته فى لحظات ميلاده الأولى أشبه بمسارع جسيمات. إذا عن لنا أن نفتش عن الأماكن التى تسود فيها هذه الظروف القصوى، فعلينا أن ننظر داخل الثقوب السوداء أو إلى نشأة الكون الأولى. لقد شرح ستيفن هوكنج - فى بداية مسيرته العلمية كيف يمكن تطبيق بعض المبرهنات عن المفردات التى تحصل عند مراكز الثقوب السوداء، على حالة الكون الناشئ فى مراحله الأولى. ومن خلال دراسات علم الكونيات - فيما يخص نظرية الانتفاخ الحديثة فإننا نرى الآن أن الكون فى مراحله الأولى قد كانت له آفاق حدث تماما كما للثقوب السوداء، تفصلنا عن المناطق البعيدة، تلك التى تقبع - إلى الأبد - بعيدا عن مجال رؤيتنا. ويمكن

بتطوير فهمنا للمتغيرات الفيزيائية المؤثرة على الثقوب السوداء أن يساعدنا على تصور ما حدث فى المراحل المبكرة من نشأة الكون.

وينطبق منطق مماثل على آلات الزمن. إذا رغبنا أن نختبر ما إذا كانت قوانين الفيزياء تتيح السفر عبر الزمن إلى الماضى، فيجب أن نتوسع فى استكشاف المواقف الطرفية الحدية القصوى.

وربما يكون قلب الثقوب السوداء. أحد الأماكن التى نبحث فيها عن آلات زمان تحدث فى الطبيعة ، إن انحناء الزمكان كان هو الآخر فى حده الأقصى عند نشوء الكون، فهل يا ترى تواجدت بالمثل هناك آلة زمان؟ لو أن الأمر كذلك، فربما شرح لنا ذلك فى المقام الأول كيف بدأ الكون.

الباب الرابع

السفر عبر الزمان .... ونشأة الكون

عندما بزغت الخليقة، ربما تكون هى التى شكلت نفسها .. وربما لا .. فقط الذى ينظر لها من عل من سماواته العلوية، هو وحده يعلم.(١)

ريج فيدا

(ترجمة ويندى دونيجر أو فلا هيرتى)

خطاب من لى – تشين – لى Li - Xin - Li

ذات يوم فى مكتبى ببرينستون، فضضت رسالة جاءتنى من "لى – تشين – لى" وهو دارس من الصين. كان مشوقا أن يأتى إلى برينستون لكى يدرس للحصول على الدكتوراه فى الفيزياء الفلكية ويعمل معى فى مجال السفر عبر الزمن. وقد ضمن رسالته بحثا كان قد كتبه عن نفس الموضوع. لم يكن من غير المألوف أن يبعث الدارسون، المتطلعون إلى المستقبل برسائل أو حتى أن يضمنوها مقالاتهم. والتقاليد

---

(١) الريج فيدا **The Rig Veda** : هو كتاب تراتيل دينية هندوسية قديمة ظهر فى شمال غرب شبه القارة الهندية ما بين أعوام ١٧٠٠ ، ١١٠٠ قبل الميلاد قبل ظهور الديانات السماوية. (المترجم).

المتبعة هى أن أقدم الرسالة والمقال إلى مدرسة الخريجين ليأخذها قسمنا فى الاعتبار ضمن الاجتماعات الخاصة بالقبول ، على أن هذه الحالة كانت جد مختلفة، فقد كنت على معرفة مسبقة ووثيقة بمقال "لى- تشين - لى".

كنت قد قرأت المقال وراق لى بشكل خاص عندما نشر فى فيزيكال ريفيو **Physical Review**، إذ طرح المقال مشكلة أثارها ستيفن هوكينج **Stephen Hawking**، بأن ظواهر الكم [1] ربما تآمرت (وتآزرت) لكى تمنع السفر عبر الزمن. وقد كان المثل محل الاعتبار يخص السفر عبر الزمن باستخدام ثقب دودى **Wormhole** . إن موجات تتحرك فى شكل دوائر بين فوهتى ثقبين دوديين ربما ارتفعت قيمة كثافتها إلى ما لا نهاية (حالة المفردة) ويحمل ذلك فى طياته - فى حالة الكم - احتمالا بتعطيل عمل آلة الزمن قبل أن تبدأ. لقد اقترح "لى - تشين - لى" حلا بدائيا بوضع كرة عاكسة بين فوهتى الثقبين الدوديين لتعكس الموجات وتوقف ذلك التنامى اللانهائى للطاقة. لم يحدث من قبل أن تلقيت رسالة بهذه الأهمية .. من دارس شغوف متطلع للمستقبل. لقد برهن على أنه كان واحدا بين أناس معدودين فى هذا العالم قادرين على إجراء حسابات الكم المعقدة، والأكثر من ذلك أن لديه أفكارا أصيلة، والأهم من كل ذلك أن لديه شغفا بالسفر عبر الزمان.

لقد ذكرنى ذلك بقصص كنت قد سمعت بها وأنا فى جامعة كامبريدج فى عام ١٩٧٥ بعد حصولى على درجة الدكتوراه، وكيف تلقى الأستاذ ج.هـ. هاردى **G.H. Hardy** رسالة من فتى فى مقتبل العمر من الهند يدعى س.رامانوجان **S.Ramanujan**. وقد تضمنت المراسلات بينهما بعض النظريات ذات الأهمية التى كان الأخير قد برهن عليها، ولقد عرفت بهذه القصص عن طريق صديق الأستاذ هاردى، الرياضى الشهير ج.أ. ليتلوود **J.E. Littlewood** الذى كان حينئذ فى التسعينيات من

(١) مصطلح الكم يعنى أصغر مقدار من الطاقة يمكن أن يوجد مستقلا Quantum (المترجم).

عمره، وزميلا أكبر لنا فى كلية ترينيتى **Trinity College** (كلية إسحاق نيوتن القديمة) وهى مكان حى مفعم بالذكريات حقا، حيث يمكنك أن تتمشى فى ذات الممر الذى كان الفتى إسحاق نيوتن يصفق فيه بيديه على نحو إيقاعى، ليتوافق مع صدى تصفيق يديه الآتى من طرف الممر البعيد، كى يقيس سرعة الصوت. هناك يقدم العشاء فى القاعة الكبرى وبعده يصعد الرفاق إلى أعلى ، حيث يشربون (البورت)(١) ، ويدخنون السيجار ويتبادلون علب السعوط، وسوى ذلك من الأعمال التى لا تمت بصلة للانتقال بالعكس عبر الزمان فى آلة الزمان. ويرفه الأعضاء القدامى عن رفاقهم الأصغر سنا بحكايات عن زمر الرجال الذين ضمتهم ترينيتى عبر مضى السنين: ألفريد لورد تنيسون، ولورد بايرون، وجيمس كلارك ماكسويل. وكيف كان بايرون فى مراحل الدراسة قبل تخرجه معتادا على الاحتفاظ بدب مستأنس، يربطه إلى نافورة فى ساحة ترينيتى. لقد قضى نيوتن سنوات وباء الطاعون بعيدا عن ترينيتى، عندما ابتدع حساب التفاضل والتكامل وبلور أول أفكاره حول تعميم فكرة مجال الجاذبية لتشمل مدار القمر.

لقد اطلع هاردى ليتلوود على رسالة رامانوجان له، منوهًا بأن مثل هذه النظريات إنما تأتى من رياضى من الطراز الأول. ومن ثم فقد دُعى رامانوجان إلى كلية ترينيتى. وعمل هاردى ورامانوجان سويا، فخرجا بمبرهنة فذة فى نظرية الأعداد: وهى صياغة رياضية تتيح التقدير الدقيق لعدد الطرق التى يمكن بها الوصول إلى حاصل جمع ما (ذات مرة ، وكان رامانوجان مريضا ، ذهب هاردى لعيادته. ولكى يدخل على قلب رفيقه شيئا من السرور ، قال هاردى: "لقد وصلت لتوى مستقلا سيارة تاكسى رقم ١٧٢٩، أوه ياله من رقم ثقيل الظل. فما كان من رامانوجان إلا أن أجاب "كلا، إنما هو عدد مدهش ، إنه أقل عدد يمثل مجموع مكعبين بطريقتين مختلفتين:

$$١٧٢٩ = ١^٣ + ١٢^٣ = ١٠^٣ + ٩^٣$$

---

(١) ضرب من الخمر البرتغالى. (المترجم).

عندما نظرت فى رسالة "لى- تشين - لى" تعجبت وتساءلت "ترى .. هل هو أيضا على نفس هذا المثال المدهش؟" فلسنوات عديدة، كرئيس محكمين لمكتب البحث عن المواهب العلمية "وستنجهاوس Westinghouse & Intel Science Talent Search وهو من أقدم مراكز التنافس العلمى بين طلاب المدارس العليا وأرفعها مقاما، تعلمت أن أعظم وسيلة للتنبؤ بالنجاح المستقبلى لشخص ما فى مجال البحوث هو ما قد أنجزه فعلا من بحوث جيدة فى الماضى. إنها أكثر دلالة من نتائج امتحان الـ SAT (١) ودرجاته، وأفضل من رسائل التوصية. لقد كنت أنظر إلى لى-تشين-لى واستشرف فيه أملا عظيما .. وزكيته فى آخر فصل دراسى لدى زملائى، ولكى اختصر فى قصتى هذه فقد قبلناه فى قسم علوم الفيزياء الفلكية ببرينستون ، بمنحة جامعية.

كان لدى فكرة جيدة مناسبة لكى يعمل فيها: كيف يتيسر بتطبيق السفر عبر الزمن تفسير أصل نشأة الكون. بيد أن مشكلة مهمة كان لابد وأن تواجهه: هل يمكن أن تتواجد حالة كم فى الكون الوليد يمكن أن يصلح فيها تطبيق فكرة السفر عبر الزمن؟!

لقد وصل لى - تشين - لى مبكرا عن موعده ببضعة أشهر، وعلى الرغم من أنه لم يكن قد تم تسجيل اسمه رسميا كدارس، إلا أننا لم ندع ذلك يعيقنا عن الانغماس فى العمل فى التو. إنك عندما تبحث علميا فى شىء ذى أهمية حقيقية، فمن حسن الرأى أن تحتفظ به لنفسك حتى تتمه. كنا نتقابل لى - تشين - لى وأنا - مرة كل أسبوع لتناول الغداء. ولم نخبر كائنا من كان بما كنا نعمل فيه. يالها من أوقات سعيدة، جديرة بالتذكر! لقد جربنا العديد من المطاعم المحلية ، قبل أن نستقر أخيرا فى "أورتشيد بافيليون". وذات مرة ونحن فى بداية غدائنا، وبينما كنا منهمكين كلية فى العمل وقد استغرقتنا نظرية نشوء الكون، أوقعنا حسن طالعنا على قطعة حلوى

(١) نموذج أمريكى لامتحان اختبار القدرات الرياضية وهو اختصار لجملة Scholastic Assessment Test (المترجم).

أرفقت بها العبارة التالية: "ثق بحدسك، إنما الكون هو الذى يسير حياتك" ولقد عددنا ذلك فألا حسنا ومشجعا لنا.

الفراغ وحماية الترتيب الزمنى [١] Vacuum & Chronology Protection

كى أتم رواية هذه القصة، أجدنى محتاجا لإخبارك عن أنواع الفراغ المختلفة والتى تلعب دورا محوريا فى عمل لى- تشين - لى وعملى. أنا لا أعنى هنا ذلك الفراغ الذى تحدثه المكانس الكهربائية، وإنما ذلك النوع من الفراغ الذى يتبقى بعد أن تخلى الغرفة التى أنت فيها من كل الناس، كل الأثاث، وكل الهواء، نازحا تماما كل الجسيمات الأولية، بما فى ذلك الفوتونات. حينئذ فقط تكون قد حصلت على الخواء المطلق .. الفراغ الحق. إن المتوقع أن يكون الفراغ بذلك المفهوم عديم الكثافة ومعدوم الضغط. بيد أن ميكانيكا الكم تخبرنا أن الفضاء الخاوى لا يكون دائما عديم كثافة الطاقة. فى سنة ١٩٤٨ وضح الفيزيائى الهولندى "هندريك كازيمير **Hendrik Casimir** أننا إذا وضعنا شريحتين (لوحتين) موصلتين للكهرباء مصنوعتين من الفضة قريبا جدا من بعضهما البعض، فإن الحيز الخالى بينهما يحوى فراغا ذا كثافة طاقة سالبة، بمعنى أن مقدار الطاقة لكل سنتيمتر مكعب هو فى الواقع أقل من الصفر، إن هذا الفراغ (فراغ كازيمير **Casimir Vacuum** ممثل فى شكل (١٧)، إلى جانب أنواع أخرى من الفراغ.

فى هذه الأنواع من الفراغ، يمثل مقدار كثافة الطاقة بكرة، فتمثل الكرة المظللة تظليلا خفيفا كثافة طاقة سالبة، بينما تمثل الكرة ذات اللون الأقتم كثافة طاقة موجبة. وتمثل السهام الضغط فى الجهات المختلفة، فالسهام القاتمة المتجهة إلى الخارج تعنى

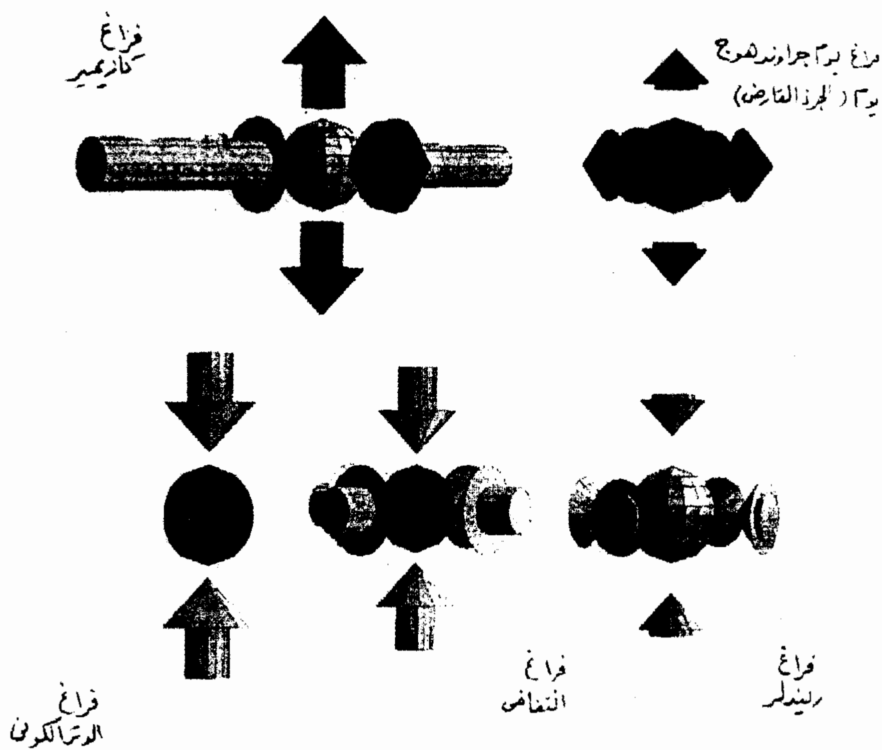
---

(١) (حدسية صاغها ستيفين هوكنج مغزاها أن قوانين الفيزياء تتآزر لتمنع السفر عبر الزمن فيما عدا على النطاق الميكروسكوبى، أو بعبارة أخرى سيحمى الزمن نفسه من المتناقضات بمنع آلات الزمن من العمل) (المترجم).

ضغطا موجبا (كالضغط فى إطارات السيارة)، والسهام ذات اللون الأفتح تعنى ضغطا سالبا (كالشفط أو السحب). ففرا غ كازيمير ذو ضغط موجب فى الاتجاهين الموازيين للشريحتين، ولكنه ذو ضغط سالب كبير على طول الخط الواصل ما بين الشريحتين، وهو الذى يجذب الشريحتين نحو بعضهما. لقد تم قياس هذه القوة معمليا (فى البداية على يد م.ج. سبارناى **M.J. Sparnaay** عام ١٩٥٨، ومؤخرا وبشكل أكثر دقة على يد س.ك. لامورو **S.K. Lamoreaux** (عام ١٩٩٧). ومن ثم فقد تيقنا من وجود "فرا غ كازيمير". وكلما ضاقت المسافة بين الشريحتين، كلما زادت كثافة الطاقة السالبة فى الحيز فيما بينهما.

إن كثافة الطاقة السالبة موضوع طريف وفريد حقا، يفتح الطريق لحلول فى نظرية النسبية العامة، تتراوح ما بين الثقوب الدودية إلى الدفع بالانفتال **Warpdriv**. حقا لقد صمم موريس **Morris**، وثورن **Thorne**، ويورتسيفر **Yurtserver** ثقبا دوديا مستخدمين ظاهرة فرا غ كازيمير للاستعانة به على الإبقاء على النفق الدودى مفتوحا. ولكى ينجح ذلك ينبغى أن يبلغ محيط نفق الثقب الدودى نحو ٦٠٠ مليون ميل، ويجب أن تغطى فوهة كل ثقب دودى بشريحة كروية خاصة مشحونة كهربائيا تسمى شريحة كازيمير. هذه الشرائح يتوجب أن تفصل بينها مسافة ١٠ –١٠ سنتيمتر عبر نفق دودى قصير يصل بيه الفوهتين، (ويطابق هذا الحد الذى وجده ل.هـ. فورد **L.H. Ford** وتوماس أ. رومان **Thomas A. Roman**من أنه فى هذه الحلول الثقب – دودية ينبغى أن تقتصر كثافة الطاقة السالبة على طبقة ضيقة للغاية فى نفق الثقب الدودى).

وأقل ما يمكننا أن نقول: إن بناء مثل ذلك الثقب الدودى سيشكل تحديا هندسيا جديا لا يستهان به، فالكتلة الكلية المتضمنة فيه تصل إلى كتلة ٢٠٠ مليون شمس، ولابد لملاحى الفضاء كى يمروا من الثقب الدودى أن يتجنبوا الشى بفعل الإشعاع المنزاح ناحية الأزرق الذى سيسقط على الشرائح، وأن يثقبوا أبوابا فى كل شريحة كى يمروا خلالها. إن ذلك من الصعوبة بمكان، بيد أن فرا غ كازيمير على الأقل – بث الأمل فى إمكانية حدوث ذلك(٢).



شكل رقم (١٧) أنواع الفراغات

وللفراغات أهميتها للأوتار الكونية كذلك، فداخل الوتر الكونى لابد من تواجد حالة من الفراغ ذات كثافة طاقة موجبة وضغط سالب بامتداد الوتر (انظر شكل ١٧) مما يولد شدا على طول الوتر، ويجعله أشبه ما يكون بشريط مطاطى. وهذا هو ما يتواجد داخل الوتر الكونى(٣): حالة غير عادية من فراغ عالى الطاقة.

وإلى جانب هذا، تلعب حالات الفراغ دورا مصيريا فى أبحاث السفر عبر الزمن وهو دور ثبتت أهميته كذلك فى البحوث عن الطور المبكر فى عمر الكون . لقد استشعر ستيفان هوكنج أن حالة الفراغ ربما تصاعدت تصاعدا لانهائيا متى حاول المرء الدخول فى آلة الزمن، مما يبدل من الشكل الهندسى للزمكان، ويخلق مفردة، مما يفسد فرص القيام برحلات إلى الماضى.

وقد وردت تلك النقطة على حدس هوكنج عندما فكر فيما قد يحدث فى فراغ ميسنر **Misner space**[(١)] وهو زمكان مجرد لا توجد به أصلا آلة زمان، ولكن يتولد فى النهاية حدث مميز من السفر عبر الزمان. ويفصل ما بين نطاق السفر عبر الزمن والنطاق حيث لا سفر عبر الزمن ما يسمى بأفق كوشى **Cauchy Horizon**، تماما كما فى حالة وترى الكونى. فكر فى فراغ ميسنر كحجرة لانهائية الامتداد يحدها من الأمام والخلف جداران وأنك تعيش بين الجدارين، هناك باب فى الحائط الأمامى وآخر فى الحائط الخلفى. أخرج من الباب الأمامى ستجد نفسك تعود فى التو إلى دخول ذات الغرفة عبر الباب الخلفى. يا للعجب .. إن فراغ ميسنر يلتف حول نفسه فى الواقع كما الأسطوانة. إن جداريه الأمامى والخلفى كما لو كانا ملتصقين معا.

إن مثل هذا الحيز كفيل بأن يعطيك إحساسا بالخوف كالذى ينتاب المصابين بمرض الهلع من الأماكن المغلقة أو الضيقة. على أن هناك ما هو أسوأ: سترقب

---

(١) هو أحد أبسط الأمثلة للمفردة الكونية فى نظرية الأوتار - زمكان رياضى مجرد، اكتشفه الفيزيائى الأمريكى تشارلز ميسنر، ويشبه لعبة الفيديو التى يدخل فيها الشىء على يمين الشاشة بعد أن يخرج من يسارها. (المترجم).

الحائطين وهما يتحركان مقتربين أحدهما من الآخر. وفى الواقع فإنهما يتحركان بسرعة ثابتة وسيرتطمان معا فى المستقبل، ولنقل فى بحر ساعة. ياله من موقف عصيب شبيه بمن حوصر فى آلة ضخمة لكبس القمامة كما فى العرض السينمائى الأصلى (حرب النجوم). الحائطان يتحركان كل فى اتجاه الآخر، وأنت محاصر بينهما. على أية حال فالهروب الحقيقى فى حيز الإمكان فى فراغ ميسنر. أخرج من الباب الأمامى، وكما تعلم فإنك ستدخل ذات الغرفة ثانية من الباب الخلفى. والآن، فلتخرج من الباب الأمامى ثانية وتستمر على هذا المنوال. وطالما أن الحائطين مستمران فى الحركة كل نحو الآخر، فإنك فى كل مرة تجتاز فيها عبر الغرفة، ستكتسب سرعة إضافية بالنسبة للحائطين. وستداوم على المروق خلال الحجرة مرارا وتكرارا، أسرع وأسرع، وسرعان ما سيقترب منك الحائط الأمامى بسرعة تقارب سرعة الضوء. وحيث إن الغرفة كلها تزداد سرعتها شيئا فشيئا بالنسبة لك الآن، فإنها ستبدو لك – وفقا للنسبية الخاصة – أضيق وأضيق فى كل مرة تمر فيها خلالها. إلى جانب ذلك فإن الجدارين يدنوان من بعضهما مع الوقت. بسبب هذه الظواهر، فبمقدورك فعلا أن تمر خلال الغرفة عددا لانهائيا من المرات فى خلال زمن محدود تستطيع قياسه بساعتك. إلى أين ستذهب إذن؟ ستعبر عندئذ أفق كوشى فى نطاق من السفر عبر الزمن. لم تعد متواجدا داخل الغرفة بعد، بل لم تعد فى كنساس بعد[1] لقد دخلت فى زمكان فريد من نوعه. إن النطاق الجديد يشبه قطعة من الورق، الماضى فى أسفلها والمستقبل فى أعلاها. لفها والصق حافتيها (كما فى الشكل رقم ٩). يمكنك العودة إلى زيارة أحداث بعينها مرارا وتكرارا. إن فضاء مسنر غريب حقا، غير أن حساب ما يحدث فيه يسير نسبيا، ويؤخذ فى الغالب

(١) كنساس هنا (وهى ولاية أمريكية) تعبر عن الأرض بصفة عامة ، و يقصد المؤلف بهذه العبارة أنك لم تعد على سطح الأرض على الإطلاق (المترجم).

كمثال على طراز بدائى لزمكان تنشأ فيه آلة زمن (كما فى حالات الثقب الدودى والوتر الكونى).

لقد حسب الفيزيائيان وليام هيسكوك **William Hiscock** وديبوراه كونكوفسكى **Deborah Konkowski** من جامعة مونتانا الحكومية، نوع الفراغ الذى يمكن تطبيقه فى فراغ ميسنر، فبدآ بحالة الكم التى تناظر فراغا عاديا، وتساءلا كيف سيتغير لو تم لفه حول حجرة الصق جداراها الأمامى والخلفى معا. سيعمل الجداران الملتصقان معا عمل شريحتى كازيمير المتوازيتين، ولذا فقد وجد هيسكوك وكونكوفسكى أنه سيتولد داخل الغرفة فراغ كازيمير ذو كثافة طاقة سالبة. وكما سبق أن ناقشنا، بمقدورك أن تغادر هذه الحجرة عبر الباب الأمامى وتدخل – تلقائيا – ثانية من الباب الخلفى. وبتكرار مروقك خلال الغرفة المرة تلو المرة فإنها تأخذ فى الضيق، وتقل المسافة بين الجدارين الأمامى والخلفى (التى هى محيط الأسطوانة). وكلما ضاقت المسافة بين الجدارين كلما رقت الأسطوانة، وارتفعت القيمة السالبة لكثافة طاقة الفراغ. وفى النهاية، فى نفس الوقت الذى تتأهب فيه للهروب إلى نطاق السفر عبر الزمن، تتعاظم قيمة كثافة الطاقة السالبة وتنفلت إلى ما لانهاية، وهو ما يؤدى إلى انحناء لانهائى للفضاء (حالة المفردة **(Singularity)**، ويمنعك من أية إمكانية للدخول فى نطاق السفر عبر الزمان. حفز هذا الاستنتاج ستيفان هوكنج على صياغة حدسيته: "حدسية حماية الترتيب الزمنى" **Chronology Protection Conjecture** وهو ما يعنى أن قوانين الفيزياء "تتآزر" لتمنع السفر عبر الزمن إلى الماضى. إذا ما داوم الفراغ الكمى على التعاظم اللانهائى وإنشاء المفردة كلما اقتربت من نطاق السفر عبر الزمن، وعلاوة على الظواهر التى سبق لى ذكرها، فمن شأن هذا أن يوقف تقدمك صوب المنطقة التى يمكن فيها السفر عبر الزمان.

ولكننى رأيت أن أعود مرة أخرى إلى حسابات هيسكوك وكونكوفسكى، وأملت أن أجد وسيلة ما لعلاج صعوباتها، بنفس الطريقة التى أدى بها اكتشاف هوكنج للإشعاع – الذى يعرف الآن بإشعاع هوكنج – إلى حل بعض مشكلات مشابهة تخص

تعاظم الفراغ قرب آفاق الحدث فى الثقوب السوداء. سألت - فى البداية - لى - تشين - لى، أن يحسب حالة الفراغ فى زمكان أبسط يشتمل على سفر عبر الزمان، والذى أطلق عليه زمكان يوم جراوندهوج Groundhog Day SpaceTime ففى العرض السينمائى Groundhog Day، كما سبق أن ذكرت فى الفصل الثانى تعود الشخصية التى لعب دورها بيل موراى Bill Murray إلى تكرار أحداث حياتها فى يوم بعينه تصادف أن يكون يوم جراوندهوج (الجرذ القارض). كان فى كل ليلة يأوى إلى فراشه وينام حتى يوقظه جرس الساعة فى السادسة صباحا. ويكتشف - لعظيم فزعه - أنه يوم جراوندهوج من جديد، وأنه قد عاد من حيث بدأ. إن زمكان يوم جراوندهوج داى يتولد ببساطة بلصق الساعة السادسة من صباح الثلاثاء، بالساعة السادسة من صباح الأربعاء معا لتكوين أسطوانة (انظر شكل ٩). فى هذا الزمكان، كلما وصلت إلى الساعة السادسة من صباح الأربعاء تجد نفسك بكل بساطة فى السادسة من صباح الثلاثاء، فقد صار خط عالمك فى صورة خط حلزونى يلتف ويلتف حول الأسطوانة بحيث تتكرر معيشتك فى نفس اليوم على مر الأيام. فإذا عاش شخص ثمانين عاما (٢٩٢٢٠ يوما) فإن خط عالمه سيلف حول الأسطوانة ٢٩٢٢٠ مرة، وفيما هو يتقدم فى السن سيلاقى ٢٩٢١٩ نسخة أخرى من نفسه، منهم الأطفال ومنهم الرجال.

فى هذا السيناريو للزمكان، يمكن للإنسان أن يلعب كرة القدم ضد نفسه، بل يمكنه فى الحقيقة أن يشغل أى مركز فى الفريقين المتباريين بالتبادل، فضلا عن أن يحل كمتفرج بل ككل المتفرجين كذلك. بمقدورك أن تذهب إلى الاستاد وتلعب شوطا مع فريق، وتعود أدراجك فى الماضى وتلعب شوطا مع الفريق الآخر، وهلم جرا، مكملا بأن تتوجه إلى الاستاد كمتفرج، وتجلس فى مقعد مختلف فى كل مرة. سيبدو لك الأمر وكأنك تعيش أياما عدة، ولكنك فى الحقيقة تشاهد نفس الأحداث المرة تلو المرة. فمباراة كرة القدم ستنتهى فى كل مرة بنفس النتيجة(٤)؛ لأنها فى الحقيقة نفس المباراة.

لقد وجد "لى – تشين – لى" أن الفراغ الطبيعى الملتف حول "زمكان يوم جراوندهوج الأسطوانى" سيكون ذا كثافة طاقة موجبة وضغط موجب (شكل ١٧). ونظرا لضآلة مقدارى كثافة الطاقة والضغط فلن يغير كثيرا من الشكل الهندسى، ولن يحدث تعاظم لا محدود لكثافة الطاقة. إن تعاظمات فراغ الكم لا يبدو مطلقا أنها تتداخل مع السفر عبر الزمن فى المواقف التى يكون فيها السفر عبر الزمن فى الحاضر. إن لدى زمكان يوم جراوندهوج سفرا عبر الزمن فى كل مكان. كل حدث يمكن زيارته ثانية، وليس له أفق كوشى ذلك الذى يفصل نطاق إمكانية السفر عبر الزمن عن نطاق عدم السفر عبر الزمن. على أن الفراغ الذى عثر عليه "لى– تشين – لى" لزمكان يوم جراوندهوج كان جد شبيه بالفراغ الذى كان قد وجده هيسكوك وكونكوفسكى داخل نطاق السفر عبر الزمن لفضاء مسنر.

عندئذ طلبت من "لى – تشين – لى" أن يحسب الفراغ الطبيعى الملتف فى فراغ مسنر(٥) تماما مثلما فعل هيسكوك وكونكوفسكى، فحصل على ذات النتيجة التى حصلا عليها. ترى هل كان هناك حل للسفر عبر الزمان يمكن أن ينجح؟

فى خلال تناولنا للغداء التالى قال "لى – تشين – لى" : لدى الإجابة. فقد لاحظ أنه فى شكل هندسى معين هناك أكثر من حالة فراغ يمكن أن تختار من بينها، فبدلا من الابتداء بفراغ طبيعى، فإنه بدأ بنوع يسمى فراغ ريندلر **Rindler Vacuum**.

إن فراغ ريندلر هو حالة فراغ يقيسها الراصدون المتحركون بتسارع(٦). ولكى يستوعبه المرء يجب أن يفهم أولا أن رائد الفضاء الذى يتحرك بتسارع مشغلا محركات مركبة صاروخه فى الفضاء الخاوى ذى الفراغ المعتاد سيكتشف – وهو الأمر العجيب – الفوتونات. ويسمى هذا الإشعاع الحرارى بإشعاع أونروه **Unruh Radiation** . وليس بمقدورك أن تراه ما لم تتحرك بتسارع، ورائد الفضاء المتحرك بتسارع يشاهده. لكن من أين تأتى هذه الفوتونات؟ إن طاقتها – فى الواقع – تأتى بالاستعارة من الفراغ الطبيعى، (مثل إنسان يضع نقودا حقيقية فى جيبه بأن يقترض قرضا ويصبح مدينا) والطاقة التى يستعيرها رائد الفضاء من الفراغ إذن تجعله

قادراً على رصد فراغ ذى كثافة طاقة سالبة (أقل من الصفر) وهى حالة الفراغ المسماه بفراغ ريندلر. فلفراغ ريندلر كثافة طاقة سالبة وضغط سالب (شكل ١٧)، ويعادل هذا كثافة الطاقة الموجبة والضغط الموجب "لإشعاع أونروه" الذى يرصده رائد الفضاء، وبهذه المعادلة لكثافة الطاقة وللضغط تصل محصلتهما إلى الصفر، مما يتفق مع حالة الفراغ الطبيعى الذى يراه راصد لا يتحرك بتسارع (كحالتك). إن رائد الفضاء يلمس وجود الفوتونات، ولكنك أنت لا تلمسها. وستختلفان حول كنه حالة الفراغ وما إذا كانت هناك فوتونات. لكن كليكما ستتفقان على مقدار كثافة الطاقة الكلية. إن الفراغ المعتاد الذى تراه يساوى فراغ ريندلر الذى يراه هو زائدا إشعاع أونروه الذى يحسه هو. وإذا لم يشاهد الراصد المتحرك بتسارع إشعاعا ، فله أن يستنتج أن كثافة الطاقة كانت أقل من الصفر، وأنه كان يحيا فى كون من فراغ ريندلر الصرف. إن فراغ ريندلر معروف جيدا (على الأقل بالنسبة للفيزيائيين) كوصف حالة الفراغ لدى الراصدين المتحركين بتسارع (للتعرف إلى تفاصيل إضافية عن هذا الفراغ يرجى الرجوع للملاحظات).

داخل نطاق السفر عبر الزمن يُحدث فراغ ريندلر كثافة طاقة سالبة وضغطا سالبا. ولكن لما كان الزمكان ملتفا حوله فى اتجاه الزمن، فتضاف إليها كثافة طاقة موجبة وضغط موجب (مثلما حدث فى زمكان يوم جراوندهوج). وإذا واتت متغيرات ملائمة فإن كلا الظاهرتين تلغيان كل منهما الأخرى تماما، مخلفتين فراغا ذا كثافة طاقة وضغط يساويان صفرا، تماما كالفراغ الطبيعى. ولكى يحصل هذا الإلغاء التام يجب أن يقترب الحائط الأمامى والخلفى فى فراغ مسنر من بعضهما البعض بسرعة ٩٩,٩٩٩٣٪ من سرعة الضوء.

كان هذا حلا جيدا، تصافحنا "لى" وأنا. ففراغ ريندلر الملتف هذا له(٧) كثافة طاقة صفر وضغط صفر فى كل حيز فراغ ميسنر - سواء فى نطاق السفر عبر الزمن أو فى نطاق اللاسفر عبر الزمن، وبالتالى فقد أعطى حلا مضبوطا لمعادلات أينشتاين، وكان حلا مترابطا ذاتيا، وقد أثمر الشكل الهندسى المحتوى على سفر عبر

الزمن فراغا كميا بطريقة صحيحة، وقد أنتجت حالة الفراغ الكمى هذه - من خلال معادلات أينشتاين - بدورها الشكل الهندسى الذى بدأنا به. وقد زودنا هذا الحل بنموذج معاكس "لحدسية حماية الترتيب الزمنى" لأنه تعلق بنفس النموذج الذى أسفر عن استثارة هذا التخمين فى المقام الأول.

عرفت أنا ولى تشين لى أن حلنا يمكن توظيفه لإنتاج حالة مترابطة ذاتيا لنموذج للكون فى مراحله الأولى يتضمن السفر عبر الزمان، وهو النموذج الذى كنا نعمل فيه. وكانت الخطوة التالية هى أن نثبت صلاحيته ، (وقد ثبتت فعلا) ولكن بحثنا فى العلوم الكونية قد يستغرق شهورا كى يتم، فقررنا أن نحرر مقالا مستقلا عن "فراغ ميسنر" ونرسل به على وجه السرعة إلى "فيزيكال ريفيو ليترز" وسيكون المحرر الأول للمقال هو لى - تشين لى (٨)، فهو الذى أحرز هذا الفتح الجوهرى. أرسلنا مقالنا بتاريخ ٥ سبتمبر ١٩٩٧، ووضعنا فى المقال جملة مبهمة تفيد بأن لدينا أيضا حلا مترابطا ذاتيا يحوى سفرا عبر الزمن لنوع من الفضاء، وأنه من الممكن التحقق من أنه يصلح حلا لمسألة نشأة الكون. وأملنا أن هذه الجملة ستحفظ لنا حق السبق إلى هذه الفكرة من دون الإفصاح عن الفكرة كاملة. وفى أثناء ذلك كثفنا عملنا فى استكمال حساباتنا اللازمة لبحثنا عن نشأة الكون.

فى إصدار نوفمبر من جريدة **Classical & Quantum Gravity** نشر بحث لميخائيل ج.كاسيدى وهو طالب لدى ستيفن هوكنج، أثبت فيه حتمية وجود حالة فراغ ذى كثافة وضغط يساويان الصفر ويتخللان حيز ميسنر بأكمله. ولقد استنتج ذلك بالاستدلال بالفراغ الموجود حول وتر كونى، ولم يكن يعرف أية حال هذه، كل ما كان يدريه أنها ينبغى أن توجد وأن تختلف عن الحالة التى استخدمها هسكوك وكونكوفسكى. والأكثر من ذلك فقد ظهرت هذه الحالة عندما تقارب الحائطان الأمامى والخلفى بسرعة ٩٩,٩٩٩٣٪ من سرعة الضوء. كان من الواضح أن حالة الفراغ الكمى التى أشار إلى ضرورة وجودها هى نفس الحالة التى كنا قد وجدناها، إلا أنه سبقنا إلى النشر عنها. أحسسنا ساعتها أن المسألة مسألة وقت ، إذ توصل غيرنا

إلى نفس الحل، وبناء على ذلك وضعنا بحثنا عن فراغ ميسنر(٩)، فى الحال على موقع لمنشورات موضوعات الفيزياء الفلكية (XXX.lanl.gov/astroph) حتى يتمكن الكل من قراءته ، ثم ضاعفنا مجهوداتنا ليرى بحثنا عن نشأة الكون النور فى أسرع وقت ممكن، مقصرين عطلاتنا على يوم الكريسماس فحسب، ووضعناه على شبكة الحاسب الآلى إلى الفيزيكال ريفيو ، وأرسلناه فى اليوم التالى على الإنترنت مع اقتراب العام من نهايته فى ٣٠ ديسمبر ١٩٩٧ نشر بحثنا عن فراغ مسنر فى الفيزيكال ريفيو ليترز بتاريخ ٦ إبريل ١٩٩٨ ونشر بحثنا عن العلوم الكونية والمعنون "هل يمكن أن ينشئ الكون نفسه" على الخط المباشر لشبكة المعلومات فى الفيزيكال ريفيو بتاريخ ٢٩ مايو ١٩٩٨ وظهر فى إصدار ١٥ يوليو ١٩٩٨ فى بحثنا عن العلوم الكونية استعملنا فكرة السفر عبر الزمن لنعالج واحدة من أقدم المشكلات وأكثرها بلبلة للأفكار فى الكونيات: السؤال عن العلة الأولى First Cause[١].

مسألة العلة الأولى

دوخت معضلة العلة الأولى كل الفلاسفة والعلماء لأكثر من ألفى عام. فالعلة تسبق المعلول، فإذا أنت عينت علة أولى للكون فربما سألك أحد المتشككين: "إذن فما سبب ذلك؟ وماذا حدث قبل ذلك؟" اقترح "أرسطو" أن الكون موجود بصفة خالدة سواء فى الماضى أو فى المستقبل، ولا حاجة لطرح مثل هذه الأسئلة المحيرة. لقد اجتذب هذا النموذج كذلك علماء العصر الحديث. فتصور نيوتن كونا لانهائيا فى المكان (وإلا لانهار - حسب مفهومه - حتى يصير كتلة واحدة) وخالدا فى الزمان. وعندما ابتكر أينشتاين النسبية العامة و طبقها على العلوم الكونية، كان نموذجه الأول

---

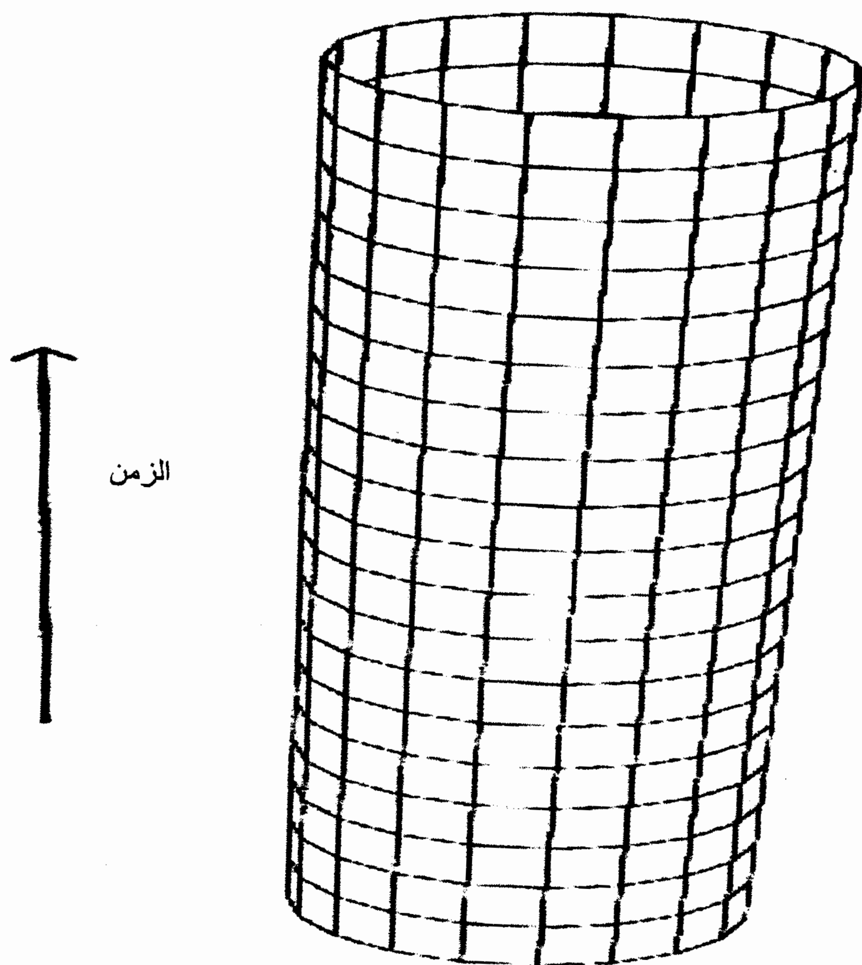
(١) (العلة الأولى First Cause تعبير يستخدم فى العلوم الفلسفية واللاهوتية للتساؤل عن أصل النشأة الذاتية للكون والحياة، ويطلق هذا الاصطلاح على الذات الالهية من حيث إنها العلة لكل وجود). (المترجم)

هو "كون أينشتاين الاستاتيكى" والذى يمتد - هو الآخر - إلى الأبد، بلا بداية ولا نهاية".

للفضاء فى كون أينشتاين الاستاتيكى هذا حجم متناه؛ لأنه منحن ومتقوس على نفسه. وبمقدورنا أن ندرك هذا لو تأملنا موقفا مماثلا وهو سطح الأرض المتكورة على نفسها. إن لسطح الأرض مساحة نهائية ولكن ليس لها حافة. وبين كولومبوس كيف أنك إذا أبحرت غربا فلن تسقط من على شفير الأرض، وأثبت بحارة ماجلان أنك بمداومة الإبحار فى اتجاه واحد حول الأرض ستعود إلى حيث بدأت ، فسطح الكرة سطح ثنائى الأبعاد، وحسبنا خط العرض وخط الطول لتحديد موضع ما. تخيل شخصا ثنائى الأبعاد **Flat lander** يحيا على سطح كرة. لن يكون باستطاعته أن يتبين سطح الكرة. ولكن الشخص ثنائى الأبعاد يمكنه أن يكتشف أنه يعيش على سطح كرة لا على مستوى مسطح إذا لاحظ أنه فى كل مرة يقوم فيها برحلة سائرا - حسب مفهومه - على خط مستقيم فإنه عائد إلى حيث بدأ. وإذا استخدم أدوات لمسح السطوح فسيمكنه أن يكتشف أن مجموع زوايا المثلث تتجاوز ١٨٠ درجة. وبعبارة أخرى فإن عالمه لا يخضع لقوانين الهندسة الإقليدية. باستطاعة هذا الكائن ثنائى الأبعاد حتى أن ينشئ مثلثا ذا ثلاث زوايا قائمة إذا وصل ما بين القطب الشمالى ونقطة على خط الاستواء بخط يمتد من الشمال للجنوب، ثم دار لمسافة ربع دائرة على طول خط الاستواء، ثم فى النهاية بالدوران صوب الشمال حتى يصل للقطب الشمالى. ليس بمقدورك إنشاء مثل هذا المثلث على سطح مستو. سيكتشف كائننا ثنائى الأبعاد أنه لا يحيا فى عالم مسطح ولكن فوق أرض كروية **Sphereland** (وهذا محور قصة بهذا الاسم لـ د.برجر). وبالمثل، فإن كائنا أحادى الأبعاد سيجد نفسه لا يعيش فى عالم خطى ولكن على محيط دائرة. سيرحل دائما صوب اليمين، ولكنه بعد أن يتم قطع محيط دائرة كاملة سيعود إلى نقطة الأصل.

والدائرة هى نموذج أحادى الأبعاد للكرة. ويسميها الرياضيون فى بعض الأحيان بوحدة من الرتبة الأولى الكرة **One Sphere** . كما يسمى السطح الكروى العادى

(كسطح الفقاعة) بثنائية الكرة Two Sphere؛ لأنه ذو بعدين. وفى كون أينشتاين الاستاتيكى، فإن الشكل الهندسى للفضاء كروى من الدرجة الثالثة (كون ثلاث كرات) Three Sphere وهو المقابل الثلاثى الأبعاد، لكرة المرتبة الثانية). فى الكرة من الرتبة الثالثة ستجد أنك تحيا فى مكان ثلاثى الأبعاد، ولكنه منحن (متقوس) على نفسه. إذا سافرت متجها إلى الأمام فى صاروخك الفضائى، وداومت على ذلك فإنك فى خاتمة المطاف ستعود إلى كوكبك الأم. إن ما ظننته خطا مستقيما وأنت تتقدم صوب الأمام هو فى الحقيقة دائرة ذات محيط متناه. سافر فى مركبتك الصاروخية ناحية اليمين فى خط مستقيم لتجد نفسك فى النهاية عائدا من جهة اليسار إلى كوكبك الأم. سافر إلى أعلى فى خط مستقيم فستعود أخيرا لكوكبك من أسفل، فبصرف النظر عن الاتجاه الذى تتخذه ستعود إلى نقطة بدايتك بعد أن تكون قد قطعت مسافة تعادل محيط الكرة من المرتبة الثالثة. هذا الكون الكروى من الدرجة الثالثة قد يكون ضخما، له محيط يبلغ ١٠ بليون سنة ضوئية، وربما تحتاج إلى أكثر من ١٠ بليون عام لتسافر حول هذا الكون وتعود لموطنك.



شكل رقم (١٨) كون أينشتاين الاستاتيكى

يمثل شكل (١٨) تصويرا لكون أينشتاين الاستاتيكى فى رسم تخطيطى للزمكان. ولا يظهر به إلا أحد الأبعاد المكانية الثلاثة للفضاء إلى جانب البعد الزمنى، ويبدو كون أينشتاين الاستاتيكى فى هيئة سطح أسطوانة. يتجه الزمن إلى أعلى فى الشكل صوب المستقبل ويمضى البعد المكانى الأوحد حول المحيط. إذا أردت معرفة ما يبدو عليه الكون فى لحظة ما، اقطع هذا السطح مقطعا أفقيا فتحصل على دائرة. تمثل هذه الدائرة دائرة عظمى على سطح الكرة ثلاثية الرتبة. إذا راق لك أن تشاهد عرضا سينمائيا يبين كيف يتطور الكون مع مرور الزمن، فتخيل مستوى أفقيا يقطع الأسطوانة وتخيله يتحرك إلى أعلى مع الزمن. سترى دائرة ثابتة الحيز مع مرور الزمن ، فالكون الكروى من الرتبة الثالثة استاتيكى، لا هو بالمتمدد ولا هو بالمتقلص، بل يبقى محيطه ثابت القياس. وتمتد الأسطوانة بلا حدود فى اتجاهى الماضى والمستقبل. وكما رغب أرسطو للكون أن يكون ، فهو لم يخلق البتة ولن يدمر بحال. إنه فقط موجود وجودا سرمديا.

ولكن ، على عكس الكون فى تصور نيوتن، ليس فضاء كون أينشتاين الاستاتيكى لانهائيا، بل إن الفضاء ينغلق على نفسه ومن ثم فهو متناه. فسطح الأسطوانة فقط هو الحقيقى، أما خارجها وداخلها فلا وجود له. إن خطوط العالم للمجرات (وفى مثل هذا الكون يوجد عدد متناه من المجرات) هى خطوط مستقيمة رأسية تمضى من أسفل الأسطوانة حتى قمتها ، تمثل تواريخ عالمها مع مضى الزمن، وتبقى المجرات محافظة على المسافات فيما بينها، فإذا قست المسافة بين مجرتين فى وقت ما، ثم عدت إلى التحقق منه فيما بعد فستجد المسافة كما هى. ومن الطريف أنه ما من مجرة مفردة تحتل موضعا متميزا، فمثلما تتكافأ النقاط على سطح الكرة، تتكافأ جميع النقاط فى الكرة من الرتبة الثالثة. ولا يمكن لمجرة ما أن تدعى لنفسها وضعا متميزا فى مركز الكون.

للوصول إلى هذا النموذج، كان على أينشتاين أن يغير معادلاته للنسبية العامة، ففى نظريته تجذب النجوم بعضها البعض، وعلى ذلك فإذا بدأنا بالكون فى حالة

سكون فلابد وأنه سيأخذ فى الانهيار فى الحال. وبالتالى فإن مثل هذا النموذج الاستاتيكى الذى أشار به إسحاق نيوتن ليس ممكنا. لقد حاول نيوتن أن يبرهن على أنه فى كون لانهائى، فحتى مع تجاذب النجوم فيما بينها فإن لكل نجم عددا متساويا من النجوم تتجاذبه إلى جهات مختلفة، ومن ثم فإنه سيمكث فى مكانه. (لم يعرف لا نيوتن ولا أينشتاين شيئا عن المجرات، ولكن محاولة البرهنة تبقى هى هى سواء كان الحديث عن النجوم أو عن المجرات). لقد كانت حيلة (نتساءل عنها الآن) بدت ممكنة فى نظرية نيوتن، إذ كان لديه مفهوم المكان المطلق والزمان المطلق، بينما لم يكن هذا البديل متاحا لدى أينشتاين. لقد بينت معادلاته بالتأكيد أنه من المستحيل وجود كون استاتيكى غير متناه محتو على نجوم (ومجرات)، مستديم دواما سرمديا - مثلما اقترح نيوتن. وفى الحقيقة فلا إمكانية لوجود أى نموذج استاتيكى.

وعلى ذلك فقد أضاف أينشتاين حدا جديدا إلى معادلاته، مطلقا عليه "الثابت الكونى" **Cosmological Constant**. فسر أينشتاين هذا الحد بانحناء إضافى يمكن دائما أن يتواجد لدى خواء الزمكان. وفى المصطلح الفنى الحديث فإن ذلك يكافئ اقتراح حالة الفراغ الكمى بكثافة طاقة موجبة وضغط سالب.

ويمكننا اليوم تسميته بحالة فراغ انتفاخية **Inflatory Vacuum state** (انظر شكل ١٧). لقد كان أينشتاين من الذكاء بحيث اكتشف أن حالة فراغ فى الكونيات ينبغى أن تبدو واحدة للراصدين المختلفين فى أثناء تحليقهم بسرعات مختلفة (أقل من سرعة الضوء)، بحيث لا تؤدى حالة الفراغ إلى حالة فريدة من السكون. لقد تطلب هذا أن يكون للفضاء الخاوى ضغط سالب يعادل فى المقدار كثافة طاقته الموجبة. وهذا الضغط السالب هو نوع من الشفط. لو وضعت بعضا من حالة الفراغ الانتفاخى هذه فى داخل إطارات سيارتك، فإنها لن تصمد وستنسحب إلى الداخل نتيجة للضغط السالب. ولكن لو تخلل ضغط سالب ثابت كل الفضاء، فلن يكون هناك أى فروق فى الضغط تدفع الأشياء للحركة، وبالتالى فلن تلاحظه، وبالمثل فأنت جالس

فى حجرة يبلغ ضغط الهواء فيها حوالى ١٥ رطلا لكل بوصة مربعة، ولكن نظرا لانتظام ذلك الضغط وانتشاره، فإنك لا تلاحظه[١].

ومع ذلك فلهذا الضغط المنتظم تأثيره، فمعادلات أينشتاين تخبرنا أن الضغط يجلب ظواهر (تأثيرات) جذبوية (وهو الشىء الذى لم يتوقعه نيوتن). فإذا كان الضغط الموجب كمثل ذلك المتواجد فى نجم ما يحدث شدا جذبويا، فإن الضغط السالب بالتبعية يحدث دفعا جذبويا. وحيث إن هنالك ثلاثة أبعاد مكانية فإن الضغط السالب بالفراغ الانتفاخى يعمل فى ثلاثة اتجاهات، مما يجعل تأثير الدفع الجذبوى للضغط السالب ثلاثة أمثال الجذب الناجم عن كثافة طاقة الفراغ. وبذلك تكون المحصلة النهائية الناتجة عن حالة الفراغ الانتفاخى دفعا جذبويا، ويجوز أن يعادل هذا الدفع، الشد الجذبوى للنجوم والمجرات مما يؤدى إلى كون "استاتيكى". وفضلا عن ذلك، وبناء على حسابات أينشتاين، لو كان متوسط كثافة المادة المعتادة بالكون (أى النجوم والمجرات) منخفضا، فإن كثافة الطاقة فى الفراغ ستكون منخفضة هى الأخرى وسيكون محيط كرة الكون الثلاثية الرتبة كبيرا. وكمثال إذا وصلت الكثافة المتوسطة للنجوم والمجرات – التى تنتشر كالبقع فى أجواز الفضاء المترامية – إلى حوالى ٢٨٠ ذرة هيدروجين لكل متر مكعب، فسيبلغ محيط كون أينشتاين الاستاتيكى نحو ١٠ بليون سنة ضوئية، وهو من الضخامة بحيث لا يمكن – على مستوى الأبعاد الصغيرة – ملاحظة ظواهر التقوس (الانحناء)، تماما كما تبدو بقعة محدودة من الأرض مسطحة تقريبا. وفى هذه الحالة ربما كنا قد اعتقدنا مبدئيا بأن كوننا يخضع لقوانين الهندسة الإقليدية بينما كان فى حقيقته مغلقا ومنحنيا، تماما مثلما تخيل أسلافنا فى الأصل أن أرضنا مسطحة قبل أن نكتشف حقيقتها الكروية.

---

(١) نختلف هنا اختلافا يسيرا مع المؤلف، فلا يعود عدم ملاحظتنا للضغط الجوى إلى مجرد انتظامه ، وإنما لأن بداخل أبداننا سوائل ذات ضغط معادل له فلا نحس لهذا السبب بتأثيره. (المترجم).

وعلى كل فهناك مشاكل فى نموذج أينشتاين. كان غير مستقر كقلم رصاص يرتكز على طرفه المدبب، فليس لاتزان كهذا أن يستمر إلى الأبد. عندما تحترق النجوم مطلقة إشعاعاتها فسيرتفع الضغط فى أرجاء الكون، دافعا بالنموذج خارج حالة الاتزان ومؤذنا بانهياره.

ولا تتوقف المشاكل عند هذا الحد. فى عام ١٩٢٩ أوضح إدوين هابل كيف أن الكون آخذ فى التمدد. وحينما سمع أينشتاين باكتشاف هابل أدخل مصطلح "الثابت الكونى" وهو الذى وصفه بالخطأ الفادح الأعظم فى حياته. لماذا؟ لأنه لو كان قد تمسك بالصيغة الأصلية لنظريته دون إدخال الثابت الكونى، لكانت نظريته قد تنبأت - قبل أرصاد هابل - بأن الكون إما أن يكون آخذا فى التمدد أو فى الانكماش. لو فعل أينشتاين ذلك لأصبح اكتشاف هابل بمثابة وثيقة التبرئة التى تتوج نظريته عن الجاذبية، ولكان برهانا تجريبيا - على المستوى الكونى - عليها، يفوق فى تأثيره حتى تنبؤ أينشتاين المظفر عن انحناء مسار الضوء حول الشمس. لقد سبق هذا التنبؤ حقيقة اكتشاف هابل. ففى عام ١٩٢٢ ثم ١٩٢٤ نشر رياضى وعالم أرصاد روسى شاب هو ألكسندر فريدمان Alexander Friedmann النموذج الكونى الصحيح تأسيسا على نظرية أينشتاين الأصلية عن الجاذبية، دونما حاجة إلى الثابت الكونى. على أن نفرا محدوداً من الناس عرفوا بحل فريدمان السابق لاكتشاف هابل.

وعلى كل، لو كان أينشتاين قد اكتشف حلوله بنفسه وأعلنها - ولنقل نحو عام ١٩١٧ - لأصغى له الجميع، ولرفع أينشتاين على الأعناق وطيف به فى المدن بمجرد إذاعة اكتشاف هابل. ولكن يا لخسارة أينشتاين، لقد تحول التاريخ وجهة أخرى وتحول اهتمامنا إلى هابل وفريدمان.

الانفجار الكونى الأعظم The Big Bang.

لم يحقق إدوين هابل اكتشافا واحدا، بل اكتشافين فريدين من خلال تليسكوبه ذى المائة بوصة قطرا والمنصوب على قمة جبل ويلسون فى كاليفورنيا، أولهما أنه وجد

أن مـجـرتنا المحـتـوية على نحـو ٤٠٠ بليـون نجم، والتـى تدور كـعـجلة هائلة، ليست بمفـردها فـى هذا الكون، وأثبت أن العـديد من السـدم ذات الشكل اللولبى والتى كـان البعض يعتقد سابقا أنها سحب من غازات متوهجة فى نطاق مجرتنا، هى فى واقع الأمر مجرات شبيهة بمجرتنا. لقد برهن على ذلك بالتعرف إلى نجوم خافتة ومتغيرة فى سديم "أندروميدا" والتى أشبهت تماما نجوما نشاهدها فى مجرتنا ، بيد أن تلك النجوم كانت خافتة للغاية بما يثبت البعد السحيق للسديم. إن مجرتنا "درب اللبانة" يبلغ عرضها ١٠٠٠٠٠ سنة ضوئية، ومجرة أندروميدا التى تعتبر بمثابة شقيقتها الأكبر قليلا تبعد عنها ٢ مليون سنة ضوئية. ويتألف عنقودنا المجرى من درب التبانة وأندروميدا وعدة عشرات من مجرات أخرى أصغر. ولقد وجد هابل أن المجرات الأخرى مذرورة بعرض الفضاء فى كافة الاتجاهات إلى أقصى مدى استطاع تلسكوبه أن يرى، وطبقا لهيئتها فقد صنفها إلى مجرات لولبية، وإهليلجية وأخرى غير منتظمة، مثله فى هذا مثل عالم أحياء محظوظ يصنف الكائنات لأول مرة فى عائلات، وكما اكتشف لوينهوك **Leeuwenhook** العالم الميكروسكوبى، اكتشف هابل العالم الماكروسكوبى.

على أن أنباء أخرى هزت – بصورة أعنف – مفهوم أينشتاين عن الكون، فقد قاس فستو م. سليفر (بمرصد لوويل – فلاجستاف فى أريزونا) سرعات أكثر من ٤٠ مجرة، ووجد معظمها تتحرك مبتعدة عنا، وإليكم كيف يمكن قياس مثل هذه السرعات: يمكننا استخدام المنشور لبسط الضوء القادم من المجرة إلى طيف يحتوى على ألوان مختلفة، وتظهر فى الطيف خطوط انبعاث أو امتصاص مناظرة يختص كل منها بعنصر كيميائى بعينه لدى طول موجى معين. فإذا وجدت المعالم الطيفية لعنصر كيميائى معروف منزاحة قليلا ناحية الطرف الأحمر من الطيف ذى الطول الموجى الأكبر (انزياح دوبلر)، فإن المجرة تتحرك مبتعدة عنا، فالموجات الآتية من المجرات التى تتباعد عنا يزداد طولها، بما يعنى انزياحها ناحية الطرف الأحمر من الطيف، كنتيجة للتزايد المستمر فى المسافة إليها. أما الانزياح صوب الطرف الأزرق فيعنى

اقتراب المجرة منا. وفى حين يبدو فى طيف مجرة أندروميدا انزياح ناحية الأزرق بما يعنى اتجاهها ناحيتنا عبر مسار طويل وئيد، وجد سليفر أن عدد المجرات ذات الانزياح ناحية الأحمر تفوق بما لا يقاس تلك ذات الانزياح ناحية الأزرق. أمعن هابل فى هذا الاستقصاء ووجد أن المجرات القاصية البعد عنا تبتعد عنا بسرعات أعلى. وبحلول عام ١٩٣١ كان قد رصد مع معاونه "ميلتون هوماسون" مجرة تبتعد عنا بسرعة مذهلة تقارب ٢٠٠٠٠ كيلومتر فى الثانية. وتتناسب سرعة ابتعاد المجرة عنا تقريبا مع بعدها عنا، وهى علاقة لاحظها هابل للمرة الأولى عام ١٩٢٩، وتوطدت فى عام ١٩٣١ بمعلومات درامية عن أرصاد غطت مسافات أبعد. وكلما أوغلت مجرة ما فى البعد عنا، كلما بدت لنا أصغر فى السماء، وكلما زادت سرعة ابتعادها عنا. لقد كانت هذه المجرات - وطبقا لتشبيه مشهور - مماثلة لوضع حبات من الزبيب فى رغيف هائل يجرى خبزه فى فرن. فكلما انتفخ الرغيف وتمدد، كلما تباعدت حبات الزبيب على سطحه عن بعضها البعض. لو أن شخصا فى مكان حبة زبيب فى ذلك الرغيف، فإن حبة الزبيب البعيدة عنه ستبتعد عنه بأسرع مما ستبتعد حبة قريبة منه، لقد اكتشف هابل أن الكون بأسره آخذ فى التمدد. وهى واحدة من أعظم نتائج البحث العلمى وكبرى مفاجآته.

وهكذا ، فإن نموذج أينشتاين للكون انطوى على تنبؤ ثبت زيفه، ففى نموذج أينشتاين تحتفظ المجرات بمسافات ثابتة بينها وبين بعضها، ولا تتباعد. وفى تلك الأثناء، كان ألكسندر فريدمان قد عثر على الإجابة. لقد حل معادلات أينشتاين الأصلية حلا صحيحا - دونما إدخال لثابت كونى - بوضع افتراض مهم: لا وجود لنقاط ذات وضع مميز فى الفضاء. وبعبارة أخرى، فإن أية نقطة فى الفضاء تستوى مع أية نقطة أخرى، ويعنى هذا - فيما يخص انحناء الفضاء. عدم وجود موضع متميز، ومقدار الانحناء هو هو فى كل مكان.

كل ما تبقى لكى نوصفه هو ما إذا كان الانحناء موجبا (كسطح الكرة) أو صفرا (كالسطح العلوى لمنضدة) أو سالبا (كسطح سرج الحصان)، فهناك ثلاثة احتمالات:

١ – كون مغلق كروى من الرتبة الثالثة ومنحن انحناء موجبا، ولبعده المكانى شكل هندسى كذلك الذى اقترحه أينشتاين. فى هذا الكون، يتجاوز مجموع زوايا المثلث ١٨٠ درجة، وهو كون مغلق، ذو محيط محدود فى جميع الاتجاهات، وبه عدد محدود من المجرات، وإن لم يكن له حواف (استكشف فريدمان هذه الحالة فى عام ١٩٢٢).

٢ – كون مسطح ذو انحناء صفر، حيث لا نهاية للفضاء فى كل الاتجاهات، كون يخضع لقوانين الهندسة الإقليدية (مجموع زوايا المثلث يساوى ١٨٠ درجة دائما). يحوى هذا الكون عددا لانهائيا من المجرات. ولقد أضاف "هوارد ب.روبرتسون" من برنستون هذه الحالة الوسط فى عام ١٩٢٩.

٣ – كون مفتوح ذو انحناء سالب وفيه يقل مجموع زوايا المثلث عن ١٨٠ درجة، ويمتد مثل هذا الكون أيضا إلى ما لا نهاية وبه عدد لا محدود من المجرات، وقد استكشف فريدمان هذه الحالة فى عام ١٩٢٤.

وقد وجد فريدمان فى البديل الأصلى من نظرية أينشتاين – الذى لا يحتوى على ثابت كونى – أن كلا من هذه النماذج ينبغى أن يتطور أو يتغير بمرور الزمن. وينبغى أن يكون الكون المغلق ثلاثى الكرات قد بدأ من حيز صفرى، فى لحظة الانفجار الكونى الأعظم، ثم تمدد .. كما سطح لبالون ينتفخ، وهو ما يماثل ما اقترحه سير آرثر إدنجتون. وستكون المجرات بمثابة النقاط على سطح هذا البالون المتمدد، وبتمدد البالون ستتباعد النقاط ، فتزداد المسافة بين أية نقطتين مع الزمن. وفى خاتمة المطاف سيصل هذا الكون ثلاثى الكرات إلى أقصى حجم له، ويبدأ فى التقلص منتهياً فى تقلصه إلى حيز صفرى كرة أخرى متسببا فى انسحاق عظيم فى نهاية الأمر. كان هذا الكون محدوداً سواء فى المكان أو الزمان. لقد بدأ النموذجان الآخران (المسطح وذو الانحناء السالب) بانفجار عظيم، ولكنهما تمددا إلى الأبد فى المستقبل. لقد كانا لانهائيين فى الامتداد المكانى، وكذلك فى الزمان فى اتجاه المسقبل.

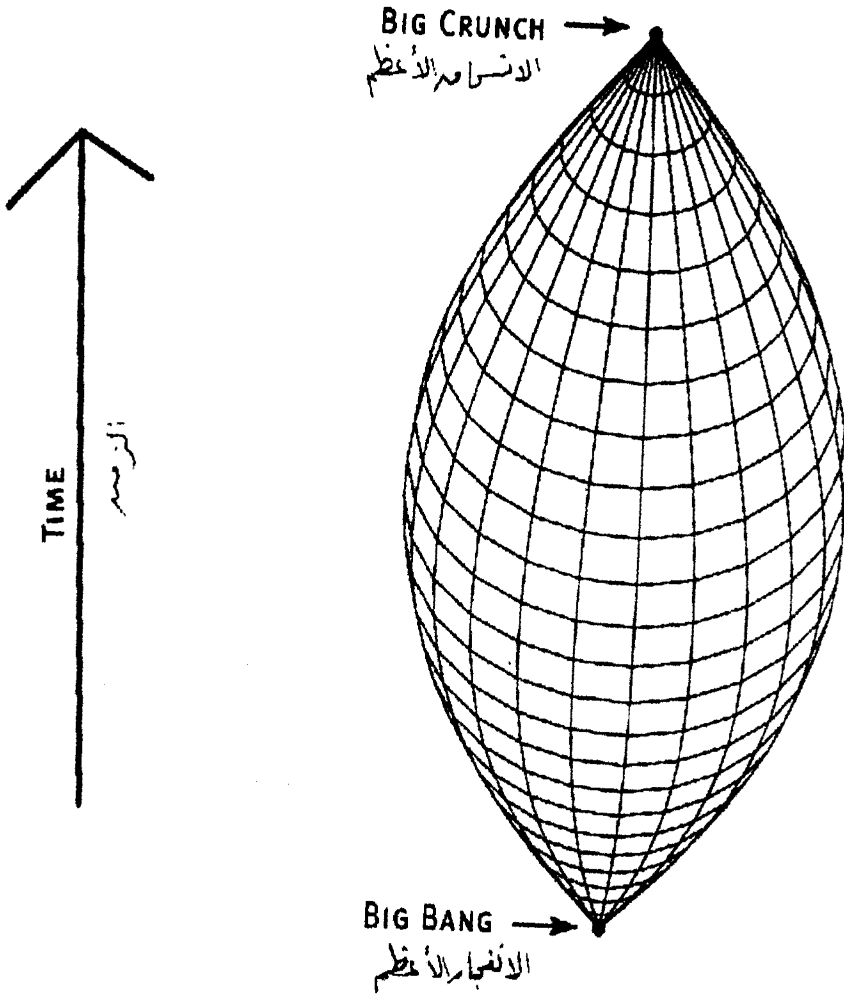
ماذا يعنى هذا بالنسبة لحركة المجرات؟ تتجاذب المجرات بفعل الجاذبية، وإن كانت تتباعد - اليوم - بسرعات عالية، ولكن هل تكفى هذه السرعة لتفلت من جاذبية المجرات الأخرى وتواصل حركتها التباعدية إلى الأبد، أم أن تجاذبها المتبادل سيتغلب فى النهاية على سرعاتها التباعدية ويجمعها معا. فإذا لم يكن هناك ثابت كونى - كما افترض فريدمان فى نموذجه - فالإجابة تعتمد على قيمة كثافة المادة حاليا فى الكون، إذا زادت عن قيمة حرجة، فسيتقوض الكون فى النهاية ، وينطبق نموذج الانفجار العظيم ثم الانسحاق الكونى الأعظم **Big Bang Big Crunch** . وإذا كانت الكثافة مساوية بالضبط للكثافة الحرجة، فسينطبق النموذج المسطح، وسيتمدد الكون ببطء شديد، ناجيا بالكاد من الانهيار، أما إذا قلت الكثافة عن حدها الحرج، فسينطبق نموذج التقوس السالب، ويدوم تمدد الكون إلى ما لا نهاية. وفى ضوء الأرصاد الحالية عن سرعات تباعد المجرات فإن حد هذه الكثافة الحرجة يبلغ ٨ × ١٠ -٣٠ جرام لكل سنتيمتر مكعب تقريبا، ويكافئ هذا وجود ٥ ذرات من الهيدروجين فى المتر المكعب. ووفقا لنموذج "فريدمان" إذا تجاوز متوسط كثافة المادة فى كوننا اليوم هذا الحد الحرج، فسيتقوض الكون، وإلا فإنه سيستمر فى التمدد إلى الأبد.

وجد هابل أن الكون - على المقياس الكبير - يبدو حقا هو هو فى جميع الاتجاهات، تماما مثلما يقتضى نموذج فريدمان، فقد تناثرت عناقيد المجرات وتجمعاتها بصورة مشابهة فى أية جهة سدد بصره إليها. وكان عدد المجرات الخافتة فى مختلف مناطق السماء الرحبة ثابتا تقريبا. وعلاوة على ذلك، فقد كانت هذه التجمعات والعناقيد المجرية جميعها تتباعد عنا. وكلما زاد بعد المجرة عنا، كلما زادت سرعة تباعدها. ربما يبدو لنا هذا كما لو كنا نحن قلب هذا الانفجار المحدود. بيد أنه - بعد كوبرنيكوس - ليس لنا أن نظل أسرى هذه الفكرة. فقد أوضح كوبرنيكوس - بما لا يدع للشك مجالا - أن الأرض ليست فى مركز الكون، مثلما كان الناس يعتقدون. وحتى لو لاح لنا أن مجرتنا فى قلب انفجار عظيم، تتباعد عنا شظايا حطامه بنفس الانتظام فى كافة الأرجاء، فلماذا تكون مجرتنا بالذات هى صاحبة الحظ

السعيد لتحظى بالوقوع فى المركز فى حين تقع سائر المجرات بعيدا عنه! إذا لاح لنا الكون بنفس الشكل فى كافة الاتجاهات، فلابد وأنه يلوح كذلك للراصدين من المجرات الأخرى، وإلا لكان لنا وضع متميز. ويطلق على فكرة عدم تميز وضعنا أو خصوصيته "مبدأ كوبرنيكوس". وهو واحد من أعظم الافتراضات العلمية الناجحة على مدى تاريخ العلم. لقد اتحدت أرصاد هابل الدالة على ظهور الكون بنفس الصورة فى كل الاتجاهات، مع فكرة عدم تميز وضعنا أو خصوصيته لترسى وتثبت حتمية صحة فرضية فريدمان. فإذا كان للكون نفس المظهر فى كافة الاتجاهات إذا نُظر إليه من كافة المجرات، فلا وجود لتميز اتجاه ما أو حظوة خاصة لموضع ما. لقد غدا حدس فريدمان الملهم هذا ضرورة الآن، كما أشار هوارد ب. روبرتسون من برينستون، وآرثر ج.ووكر من بريطانيا العظمى، لقد تأكدت نبوءة فريدمان الباهرة بأن الكون ينبغى أن يكون إما متمددا أومتقلصا. (ومن سوء الطالع، لم يمتد به الأجل ليحضر ذلك التأكد، فقد مات فريدمان عام ١٩٢٥، أى قبل أن يعلن هابل اكتشافه بأربع سنوات).

يعنى نموذج "فريدمان" أن الكون - بغض النظر عن مدى تقوسه - قد نشأ منذ ماض محدود بانفجار عظيم، وقد سادت فى لحظة ذلك الانفجار حالة من الكثافة اللانهائية والتقوس اللا محدود أى حالة المفردة. وهذه هى علة الوجود **First Cause**.

إن أبسط نماذج "فريدمان" عن الانفجار العظيم هو الكون المغلق ثلاثى الكرات الذى ينشأ بانفجار عظيم وينتهى بانسحاق عظيم، ويشبه الشكل الهندسى لزمكانه كرة القدم (شكل ١٩). وتمثل النقطة السفلى لحظة الانفجار العظيم، فى حين تمثل النقطة العليا لحظة الانسحاق العظيم. وكما هو مبين بالشكل يتحرك الزمن إلى أعلى نحو المستقبل. وللتبسيط يحتوى السطح ثنائى الأبعاد ذو الشكل الشبيه بكرة القدم - كما يبدو فى الرسم البيانى - على بعد مكانى واحد (حول المحيط) وعلى بعد زمانى ثان (من أسفل الرسم إلى أعلاه). دعك مما بداخل الكرة ومن النطاق خارجها.



شكل رقم (١٩) نموذج فريدمان للكون المغلق ثلاثى الكرات

فسطح كرة القدم الجلدية هذه هو فقط الحقيقى. ولكى نستوعب كيف يتطور الكون مع سريان الزمن، تصور أنك قطعت كرة القدم هذه بمستوى أفقى وحرك هذا المستوى القاطع - مع الزمن - إلى أعلى. إن الكون يبدأ كنقطة (الانفجار الأعظم) ثم يتحول إلى دائرة تتسع مع مرور الزمن. تمثل الدائرة محيط الكون ذى الثلاث كرات، فهو آخذ فى التمدد. وعند الوصول إلى (خط استواء) كرة القدم تكون الدائرة قد وصلت إلى اتساعها الأقصى. وباستمرار حركة مستوى القطع إلى أعلى تعود الدائرة إلى الانكماش أكثر فأكثر، منتهية إلى نقطة واحدة (الانسحاق الأعظم).

وخطوط عوالم المجرات هى خطوط جيوديسية، تمضى فى أقصر مسار متاح عبر خطوط الطول على سطح الكرة والتى تصل الانفجار الأعظم، بالانسحاق الأعظم. ففى البداية تتباعد هذه الخطوط، ولكن نظرا لتقوس السطح تنحنى خطوط الطول هذه مرة أخرى وتتقارب من بعضها فى النهاية. وعند خط استواء كرة القدم، تتوقف خطوط العالم عن التباعد وتبدأ فى التقارب. وفى خاتمة المطاف تتجمع خطوط العالم، وتتصادم عند الانسحاق الأعظم. ويصور هذا بصورة جميلة كيف تفلح نظرية أينشتاين للجاذبية. وتتسبب كتلة المجرات فى انحناء الزمكان، وتقترب مسارات المجرات من اتخاذ شكل الخط المستقيم فى النهاية.

وبنفس الطريقة، بمقدورنا أن نطلق سربا من الطائرات من القطب الجنوبى على الأرض. ستحلق كل طائرة مباشرة صوب الشمال دونما انحراف يمنة أو يسرة. وستنتشر الطائرات - ابتداء من القطب الجنوبى - متباعدة عن بعضها البعض. ولكن بعبور خط الاستواء ومع استمرار اتجاه كل منها شمالا فى خط مستقيم، فإنها جميعا ستتجمع معا، وتتصادم مع بعضها لدى وصولها للقطب الشمالى. (وربما استنبط البعض أن الطائرات قد تقاربت مع بعضها بتأثير الجاذبية المتبادل). وطبقا لنظرية أينشتاين عن الجاذبية، تتقارب خطوط عوالم المجرات من بعضها؛ لأن كتلتها تتسبب فى تقوس الزمكان.

تأسيسا على عمل "فريدمان" توصل جورج جاموف فى ١٩٤٨ إلى أن الكون الوليد بعد الانفجار العظيم مباشرة كان ذا كثافة هائلة وبالتالى ذا حرارة جبارة، فمثلما تضخ الهواء فى إطارك ، مفعمًا الحيز الضيق. بجزيئاته، تتحرك هذه الجزيئات بسرعة كما يسخن الهواء داخل الإطار. وهكذا استنتج جاموف أن الكون الوليد الحار كان مكتظا بالإشعاع الذى راح يبرد عندما تمدد الكون وأصبح أقل كثافة. ولكى نجسد ذلك تخيل أن الكون فى شكل دائرة آخذة فى الاتساع وأن موجة مستمرة من الإشعاع الكهرومغناطيسى تتحرك حول الدائرة. ستبدو كدائرة متموجة ذات عدد محدد من القمم الموجية. وستسير هذه القمم حول الدائرة وهى تتسع. لن يتغير عدد القمم الموجية مع اتساع حيز الدائرة، وعلى ذلك سيزداد طول الموجات بين القمم. والإشعاع من الموجات ذات الطول الموجى الطويل أقل فى طاقته ويناظر درجة حرارة أقل. وهكذا، بتمدد الكون سيفقد الإشعاع طاقته وتنخفض درجة حرارته.

لقد حسب جورج جاموف أيضا التفاعلات النووية التى ربما حدثت فى أثناء تمدد الكون وبرودته. بعد عملية (الطهو) هذه فى درجات الحرارة العالية سيخرج الكون مكونا فى معظمه من الهيدروجين (ونواته تحتوى على بروتون واحد)، وزهاء ٢٤ أو ٢٥٪ وزنا من الهليوم (وبنواته بروتونان نيوترونان) وحوالى٣ أو ٤ أجزاء من بين كل ١٠٠٠٠٠ جزء بالعدد من الديتيريوم (وهو الهيدروجين الثقيل الذى تحتوى نواته على بروتون واحد ونيوترون واحد)، كما ستتواجد كميات طفيفة من الليثيوم. أما العناصر الأثقل كالكربون والنتروجين والأكسجين، وانتهاء باليورانيوم فستتكون داخل النجوم فى مرحلة لاحقة بعد الانفجار العظيم. ويمكن أن يتكون الهليوم بدوره داخل النجوم، ولكن ليس هناك وسيلة معروفة تفسر تكون الديتيريوم فى النجوم، فالتفاعلات النووية تحرق الديتيريوم فيها، مكونة المزيد من الهليوم. أدرك "جاموف" أن المقادير الضئيلة من الديتيريوم والتى رصد وجودها فى الكون، لا يمكن أن يكون مصدرها الوحيد إلا الانفجار العظيم بحرارته المرتفعة. وبمعرفة كمية الديتيريوم المتواجد فى الوقت الراهن

تسنى لجاموف أن يحدد مقدار الإشعاع الحرارى الذى كان موجودا فى الأزمنة المبكرة، ووجد أن الديتيريوم الذى نجده اليوم قد تكوّن بعد دقائق قليلة من الانفجار العظيم، عندما كان حجم الكون لا يتعدى واحدا على البليون من حجمه الحالى. حسب "رالف ألفر" و"روبرت هيرمان" زميلا جاموف ماذا عساه كان يحدث لهذا الإشعاع مع تمدد الكون حتى بلوغه حيزه الحالى، وحسبا أن الإشعاع كان لابد وأن يبرد - لدى الحقبة الزمنية الراهنة - إلى درجة ٥ فوق الصفر المطلق على مقياس كلفن (درجة الصفر على مقياس كلفن تناظر درجة -٢٧٣ على مقياس سلسيوس (المئوى) أو درجة - ٤٥٩ على مقياس فهرنهايت) وقد قدر هذا التنبؤ الذى تم عام ١٩٤٨ لموجات الإشعاع طولا يقدر بالملليمترات أى إنها موجات فائقة الصغر **Microwaves**.

فى برنستون ، وفى بواكير ستينيات القرن العشرين، توصل روبرت دايك بمفرده إلى أنه بعد الانفجارالعظيم لابد وأن الكون كان فى درجة حرارة عالية(كان ستار النسيان قد أسدل على بحث جاموف). وقد أجرى زميل باهر الذكاء لدايك هوجيم بيبل، الحسابات اللازمة للتفاعلات النووية ليستنتج درجة الحرارة المفترض أن يصل إليها الكون حاليا، مكررا - دون أن يعلم - حسابات هيرمان وألفر. ولقد حدس دايك - وهو رائد فى بناء أجهزة استقبال الموجات متناهية الصغر - أن بإمكانه تشييد تلسكوب راديوى قادر على رصد الإشعاع ، حتى وإن كانت شدته بالغة الضآلة. وقد شرع ومعه دافيد ولكنسون، ب.ج. رول فى برنستون فى إقامة تلسكوب ، ذى شكل كالبوق ، أشبه ما يكون بآلة الترومبيت. ولأن فتحة البوق كانت صوب السماء، فقد تضاءلت إلى الحد الأدنى احتمالات تلوث الإشعاع بما قد يتسرب من الأرض، وذلك خلافا للتلسكوبات الراديوية العادية ذات الطبق الذى يتخذ شكل قطع مكافئ فى الأسفل، وله مستقبل موجه ناحيته إلى أسفل والتى هى أكثر عرضة للتلوث بالإشعاع الأرضى. لقد ظن دايك أنه يشيد التلسكوب الراديوى الوحيد فى العالم القادر على رصد الإشعاع الحرارى المتخلف عن الانفجار العظيم. ولكنه كان مخطئا، فعلى بعد ٣٥ ميلا فقط، فى معامل "بل" بهولمديل - نيوجيرسى، كان أرنو بنزياس وروبرت

ولسون قد شغلا بالفعل هوائيا بوقيا أكبر، صمم لكى يستقبل إشارات الموجات فائقة الصغر التى كان يرسلها القمر الصناعى Echo الذى كان قد أطلق حديثا بقطر ١٠٠ قدم وعلى ارتفاع ١٠٠٠ ميل من مدار الأرض. ولدهشتهما وجد بنزياس وويلسون إشعاعا من الموجات فائقة الصغر آتيا من كل أنحاء السماء، يناظر إشعاعا حراريا عند درجة ٣ فوق الصفر المطلق على مقياس كلفن. كانت هذه الإشارة مختلفة عن أى مصدر فلكى. فى البداية ظنا أن الإشعاع ربما أتى من فضلات بعض الحمائم تسربت إلى داخل البوق ولكنهما بعد أن نظفاه جيدا حصلا على نفس النتائج.

تلفن بنزياس لصديقه فلكى الراديو "بيرنى بيرك" سائلا إياه ما إذا كان يعرف مصدرا فلكيا يمكن أن يصدر الإشعاع المناظر لدرجة ٣ كلفن من كل أرجاء السماء بدرجة متجانسة، وتصادف أن بيرك كان قد استمع لتوه إلى حديث أدلى به جيم بيبل تكلم فيه عن خطة مجموعة علماء برنستون للتقصى عن نفس الإشعاع، فاقترح على بنزياس أن يتصل بدايك. فدعيت مجموعة برنستون إلى مختبرات "بل" حيث شاهدوا – بمزيد الإعجاب – التلسكوب الآخر والوحيد فى العالم القادر على رصد الإشعاع، وتبين لهم أنهم قد سبقوا. نشر بنزياس وويلسون ومجموعة برنستون بحوثهم المشتركة فى مجلة **Astrophysical Journal** شرحوا فيها أرصادهم ونظريتهم فى عام ١٩٦٥.

بعد ذلك بخمس سنوات حظيت بشرف العمل مع بنزياس وويلسون على نفس هذا التلسكوب البوقى. كنا نجرى بعض الأرصاد الروتينية لمعايرة شدة بعض المصادر الراديوية المعروفة، وإن كانت ذات إثارة بالنسبة لى. وقد شاهدت – فى المقام الأول – مدى دقتهما فى العمل وكيف كانا يعملان بروح الفريق. كان أرنو أكثرهما حماسة فى حين مثل بوب الطرف الهادئ. إنى لأذكر ذات مرة كيف جزم أرنو بوجود مشكلة فى لوحة إلكترونية معينة، وفى لمح البصر استخرجها بوب، مختبرا بها عددا من الوصلات بجهاز قياسه واستبدل بالجزء المعيب غيره وأعاد اللوحة – بعد إصلاحها – إلى مكانها. إن هذا التعاون السلس بين عضوى الفريق أدى بهما إلى كشفهما

الكبير، فقد كفلت عنايتهما الفائقة استبعاد كل مصادر التلويث المحتملة، وبالتالى ضمنا أن مصدر الإشارة الإضافية لابد وأن يكون آتيا من السماء.

كان علىَّ تشغيل البوق بنفسى للعديد من الليالى، وكم كان ابتهاجى - وأنا بعد طالب حديث التخرج - أن أشغل التلسكوب الذى أتاح للناس رؤية أجواز فى الفضاء لا يصل لها تلسكوب آخر. كان إشعاع خلفية الموجات متناهية الصغر الحرارى الذى رصده التلسكوب هو آخر ما تناثر من الإلكترونات والبروتونات منذ زهاء ١٣ بليون سنة، بعد ٣٠٠٠٠٠ سنة فقط من الانفجار العظيم.

فى أثناء عملى هناك رأيت ذات مرة خطابا من جورج جاموف مثبتا بدبوس على الحائط الخاص ببنزياس. كان الخطاب يحوى تهنئة لبنزياس على بحثه الحديث عن نفس الموضوع، ولكن به شكوى من أن البحث قد أغفل الإشارة إلى بعض التواريخ السابقة. أشار جاموف إلى أنه كان قد تنبأ بهذا الإشعاع فى عام ١٩٤٨ وأن زميليه "ألفر وهيرمان" قد قدرا درجة حرارته الراهنة بنحو ٥ درجات، مشيرا إلى المراجع التى تثبت ذلك.

كان غلاف الرسالة يشير إلى أنها مرسلة من "داتشا" جاموف فى بولدر كولورادو (والداتشا هى الكلمة الروسية التى تعنى المنزل الريفى). وكان هذا ما أكمل لى معلوماتى. عندما شببت عن الطوق كنت قد قرأت كل كتب جاموف، وطالما كنت أحد المفتونين بأعماله عن "الانفجار العظيم الساخن". كان لأمى صديقة، وكانت زوجة جاموف الصديقة المقربة لها، وهكذا عندما تصادف أن عملت فى المعهد المشترك لمختبرات الفيزياء الفلكية فى بولدر صيف عام ١٩٦٧، أعلمت هذه الصديقة أسرة جاموف بوجودى. فكانوا من الكرم بحيث دعونى لمسكنهم للعشاء، واصطحبنى جاموف إلى هناك بسيارته "الرولزرويس"، كان أكبر سنا مما يبدو فى صوره على أغلفة الكتب، ولكنه كان ذا حيوية وحسن هندام.

فى أثناء العشاء، طرح بعض المسائل والتحديات العقلية المسلية. كان لديه - فى الطابق السفلى - جدار كامل من الكتب التى ألفها، والتى تمت ترجمتها إلى العديد من اللغات. وتحدث كيف شعر بالرضا إزاء اكتشاف بنزياس وويلسون لخلفية الأشعة متناهية الصغر التى كان هو ورفاقه قد تنبأوا بها منذ أمد بعيد. لقد كان إنجازا عظيما أن تتنبأ بوجود ذلك الإشعاع وتحدد درجة حرارته فى حدود معامل خطأ ٢، يماثل فى عظمته أن تتنبأ بأن طبقا طائرا عرضه ٥٠ قدما سوف يحط على عشبة البيت الأبيض، ثم يظهر فعلا طبق طائر عرضه ٢٧ قدما، ويمكن للمرء أن يقول إنه أعظم التنبؤات العلمية شأنا على مر التاريخ التى تم التحقق منها بالتجريب.

إن اكتشاف بنزياس وويلسون الذى نالا بفضله جائزة نوبل فى الفيزياء قد كرس بصورة جوهرية حالة نموذج الانفجار العظيم. وبعد ثلاثة عقود، قاس القمر الصناعى COBE مستكشف الخلفية الكونية (Cosmic Background Explorer COBE) هذا الإشعاع الكونى لخلفية الموجات المتناهية الصغر لمختلف الأطوال الموجية بدقة متناهية، محددا درجة حرارته بمقدار ٢.٧٢٦ درجة فوق الصفر المطلق على مقياس كلفن. ولقد تطابقت هذه الأرصاد - بصورة دراماتيكية - مع الإشعاع الحرارى الذى تنبأ به "جاموف" و"هيرمان" و"ألفر" حتى إن الحضور من الفيزيائيين والفلكيين ممن تجمعوا فى برينستون عام ١٩٩٢ لسماع نتائج قياسات القمر COBE انفجروا فى التو واللحظة فى عاصفة من التصفيق عندما وضع "دافيد ويلكنسون" على الشاشة الشريحة التى تبين الطيف الذى جلبه القمر COBE.

سجل القمر COBE فيما بعد التقلبات والتذبذبات الصغيرة فى درجات الحرارة فى حدود جزء من ١٠٠٠٠٠ - تأسيسا على أرصاده فى مختلف الاتجاهات بالسماء. إن هذه التذبذبات الطفيفة فى الإشعاع وفى كثافة المادة التى حدثت فى الكون الوليد لتشبه تموجات دقيقة على سطح بركة ساكنة، ربما لا تلبث أن تتنامى فيما بعد إلى موجات عاتية. وتنجذب المناطق ذات الكثافة الأعلى قليلا من المتوسط بقوة أشد من المناطق المحيطة بها، مكدسة حول نفسها مقادير أكبر من المادة، وبتوالى هذه العملية،

يمكن أن تتطور هذه التذبذبات فى الكثافة إلى المجرات والعناقيد المجرية التى نشاهدها فى يومنا هذا، وذلك طبقا لما تخبرنا به أرصادنا لإشعاع خلفية الموجات الميكروويفية.

وبتصاعد الاقتناع بنموذج الانفجار العظيم، تركز الاهتمام على "مفردة" الانفجار العظيم ذاتها. أثبت "ستيفن هوكنج" "وروجربنروز" بعض المبرهنات التى تبين أنه - فيما عدا ظواهر جاذبية الكم والمنحنيات المغلقة زمانية السمة - إذا كانت كثافة الطاقة فى الكون دائما موجبة، ولم يكن الضغط أبدا سالبا لدرجة إحداث تأثير جذبوى طارد، فإن الانتظام فى التمدد الذى نلحظه اليوم يقتضى نشأة الكون بمفردة ابتدائية. وبعبارة أخرى فإن المفردات تتكون - فى البداية - حتى فى النماذج غير تامة التجانس. وقد اتخذت هذه المفردة الابتدائية على أنها العلة الأولى لوجود الكون. غير أن هذا الاستنتاج أثار أسئلة عمن سبب هذه المفردة وماذا حدث قبلها. والإجابة النمطية عما حدث قبل مفردة الانفجار العظيم هى: نشأ الزمان عند المفردة (فى أسفل كرة القدم بشكل ١٩) جنبا إلى جنب مع المكان. لذا فالزمان لم يكن موجودا قبل الانفجار العظيم وبالتالى فلا شىء حدث قبله. والتساؤل عما حدث قبل الانفجار العظيم أشبه بالتساؤل : ماذا يوجد إلى الجنوب من القطب الجنوبى؟ وهى إجابة بارعة.

ولكن يتبقى تساؤل مقلق: ما الذى جعل لهذه المفردة الابتدائية ذلك الانتظام الذى قارب الكمال، وإن لم يصل له بحيث لا تبدو فروق شاسعة فى درجات حرارة إشعاع خلفية الموجات متناهية الصغر فى مختلف أرجاء السماء؟

والمشكلة الأخرى هى أن المفردات تبدو وكأنها "ملطخة" بظواهر الكم. ويخبرنا مبدأ عدم اليقين "لهايزنبرج" بأنه لا يمكننا تحديد مواقع الأشياء بالضبط، فذلك يشبه أن تتناول قلما وترسم نقطة، ثم تمحوها وتلطخ المكان من الصفحة بالحبر. إن هذا التشوش الكمى يمكن أن يوقف وصول الكثافة إلى قيمتها اللامتناهية. إذا عدنا أدراجنا مع الزمن إلى المفردة الابتدائية، وباتباع قوانين نظرية أينشتاين للنسبية

العامة، فسنصل أولا إلى حقبة تصل فيها الكثافة حدا من الضخامة تتسبب معه الظواهر الكمية فى تقوض قوانين النسبية العامة. عند هذه الكثافة التى تبلغ ٥ × ١٠ ٩٣ جرامًا لكل سنتيمتر مكعب تبدو أهمية عدم اليقين الكمى فى الشكل الهندسى للزمكان، فالزمكان عندها لا يكون منتظما ومسطحا، بل سيصير معقدا، أشبه ما يكون بقطعة من الاسفنج الرغوى. ولهذافليس بوسعنا أن نعود بنفس الطريق – ونحن على ثقة – إلى حالة الكثافة اللانهائية، وكل ما يمكننا أن نقول إننا سننتهى إلى مكان حيث تحظى ظواهر الكم بأهمية عظيمة، وحيث لم يعد من الممكن تطبيق النسبية العامة الكلاسيكية التى افترضها هوكنج وبنروز فى استخلاصهما لمبرهناتهما. وليس لدينا فى الوقت الحالى نظرية لجاذبية الكم أو نظرية شاملة تحوى كل شىء Theory of Everything (والتى توحد الجاذبية والقوى النووية الضعيفة والشديدة والكهرومغناطيسية وميكانيكا الكم) لتعاوننا. بدلا من ذلك علينا أن نعترف أننا قبل وقت معين لا نعرف ماذا حدث، مثلما كان على الجغرافيين القدماء أن يحددوا أرضا مجهولة – لم تستكشف بعد – على الخرائط. ليس بوسعنا أن نقول بالضبط كيف نشأ كوننا.

الكون المتذبذب

فى ستينيات القرن العشرين حزر بعض الفيزيائيين أن ظواهر الكم ربما أتاحت انهيارا كونيا نحو "انسحاق أعظم" ينطلق ليصنع انفجارا أعظم آخر. سيؤدى هذا إلى كون متذبذب أو متأرجح يتعاقب فيه عدد لانهائى من الانفجارات العظمى والانسحاقات العظمى. يتجنب هذا النموذج المتأرجح مشكلة العلة الأولى. بردّ على طريقة إنها (السلاحف هى التى ستصادفها كلما ذهبت لأسفل) (١) It's turtles all the

(١) (مصطلح يستخدم فى علم الكونيات للدلالة على الاعتقاد فى تكرار وتعاقب لانهائى لمجموعة أحداث) (المترجم).

way down الذى أعيد حسابه بواسطة كارل ساجان فى روايته دماغ بروكا Broca's Brain[1] فى فصل بعنوان "جوت والسلاحف المائية". ويصف هذا الفصل بعض العمل الذى أنجزته مع بعض الزملاء: جيم جن، وبياتريس تينسلى ودافيد شرام، حيث اقترحت أن الكون سوف يستمر فى التمدد إلى الأبد بدلا من هذا التقافز. فى هذا الفصل روى ساجان قصة عن رحالة من الأزمان الغابرة صادف فيلسوفا مرموقا، فسأله أن يصف له طبيعة العالم:

"هى كرة هائلة مستقرة على ظهر سلحفاة العالم."

"ولكن على ماذا تقف سلحفاة العالم؟"

"على ظهر سلحفاة أضخم منها."

"نعم، ولكن على ماذا تستقر هذه الأخيرة؟"

"ياله من سؤال يدل على الفطنة، على أنه لا فائدة منه سيدى، إنها السلاحف هى التى سنجدها دوما كلما اتجهنا إلى أسفل."

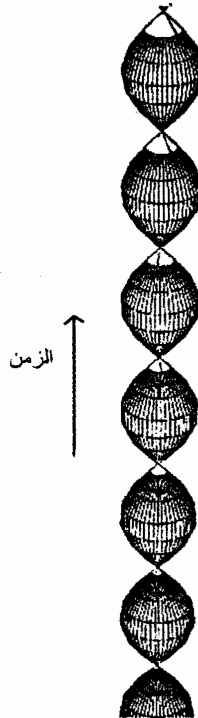
لذا ففى النموذج المتأرجح ستكون الإجابة على التساؤل عن "العلة الأولى" لكوننا هى : السبب هو تقوض الكون السابق. فمن أنشأ ذلك الكون؟ حسنا .. الكون السابق .. لا تحمل هما إنها الأكوان Universes التى ستصادفها كلما اتجهت لأسفل. فى هذا النموذج، يتكون الكون (U) من عدد لا متناه من دورات التمدد والانكماش (تنبه إلى أننى استعملت الحرف الكبير U [2] هنا لأرمز إلى منظومة الأكوان المرتبطة - سببيا - والتى يطلق عليها فى بعض الأحيان اسم الأكوان المتعددة

(١) (كتاب للفلكى الفيزيائى كارل ساجان صدر عام ١٩٧٩ وهو فى الأصل مجموعة مقالات نشرت بين عامى ١٩٧٤، ١٩٧٩، وقد خصص جزءا منه لبحث خواص كواكب المنظومة الشمسية والخيال العلمى) (المترجم).

(٢) يقصد المؤلف فى أول كلمة Universe (المترجم).

Multiverse، أو كما قال تيموثي فيريس: مجموعة الحقائق الشاملة **Shebang Whole**

فالكون إذن مكون من عدد غير متناه من نماذج الانفجار الأعظم المغلقة، منظومة مع مضى الزمان كاللآلئ فى سمطها (شكل ٢٠). ولا وجود "لعلة أولى" لأن الكون قد نشأ منذ ماض لا نهاية لقدمه. فالكون (ذلك العقد اللانهائى من اللآلئ) كان موجودا وسيظل موجودا، حتى ولو كانت لؤلؤتنا (الدورة التى تحتوى كوننا النمطى المغلق الناجم عن الانفجار الأعظم) ذات حقبة زمنية محدودة. ويعود بنا هذا النموذج إلى تصور أرسطو عن الكون السرمدى، وقريبا من مفهوم أينشتاين الأصلى عن الكون المغلق ذى الامتداد الزمنى اللا محدود فى كلا الماضى والمستقبل، وإن كانت هذه النسخة من نموذج الكون تتأرجح بدلا من بقائها ساكنة.



شكل رقم (٢٠) الكون المتذبذب

لقد كان يعتقد فى وجود مشكلات فى نموذج الكون المتأرجح بالنسبة للقصور الحرارى أو العشوائية (الإنتروبيا) entropy وهى التسمية العلمية للفوضى Disorder. اكسر مزهرية، ستتشظى أجزاؤها فى كل الاتجاهات (فتزداد تبعا لذلك درجة الفوضى بالكون). ضع مكعبا من الثلج فوق موقد، سينصهر وبالتالى تزداد الفوضى. فجزيئات المكعب الثلجى تترابط فى مواضع منتظمة، أكثر انتظاما من المواضع العشوائية للجزيئات فى الحالة السائلة. ونحن على الأرض نحدث زيادة موضعية فى الانتظام إذا ما صنعنا مكعبات ثلجية فى داخل مجمدات ثلاجاتنا، على أن هذا يستلزم طاقة. وحينما نحرق الوقود فى محطة للقوى لإنتاج هذه الطاقة فإن تلك العملية تترك المحطة نفسها فى حالة "فوضى" أعلى مما كانت عليها بحيث تتجاوز الزيادة فيها الزيادة فى الانتظام الناجم عن تجميد مكعب الثلج فى المجمد. إذا نحن أجملنا – بكل دقة – مقدار الفوضى فى الكون فسنجد أنها تتزايد مع الوقت (وهو ما يعنيه القانون الثانى للديناميكا الحرارية).

فى الأزمنة المتأخرة .. بعيدا عن تاريخ كون ما، سنتوقع لكون معين أن يكون غير منتظم بالمرة وفوضويا عند تقوضه مكونا انسحاقا أعظم، وطالما أن الإنتروبيا تتزايد مع الزمن، فهل ستدور الدورة بحيث تعود هذه الحالة ذات الفوضى والإنتروبيا المرتفعة إلى حالة شبه منتظمة من التنسيق العالى والانتروبيا المنخفضة تمهيدا للانفجار الأعظم التالى؟ ربما أمل المرء أن يتفق له أن يحصل – عرضا – على انفجار أعظم له من التنسيق ما للانفجار الذى ولد كوننا، وكأننا نلقى سلالا كاملة من العملات المعدنية إلى أعلى ويكون من حظنا – دائما وطوال الوقت – أن تسقط كل العملات على وجه واحد. إننا نرى فى الكون مناطق شاسعة ذات تجانس عال، يبلغ نصف قطرها ١٣ بليون سنة ضوئية. والأكوان التى تظهر بها مناطق منسقة أصغر حجما أكثر انتشارا، ولن يقدر للفلكيين (العشوائيين) فى مثل هذا الكون المتأرجح، أن يتوقعوا مشاهدة شروط ابتدائية Initial Conditions منتظمة للانفجار الأعظم عبر مناطق شاسعة مثلما نشاهد فى كوننا. وعلى ذلك فإن الانتظام الذى يقترب من حد الكمال

للشروط الابتدائية الذى نرصده فى كوننا ظل لغزا غامضا خلال عقدى الستينيات والسبعينيات من القرن العشرين.

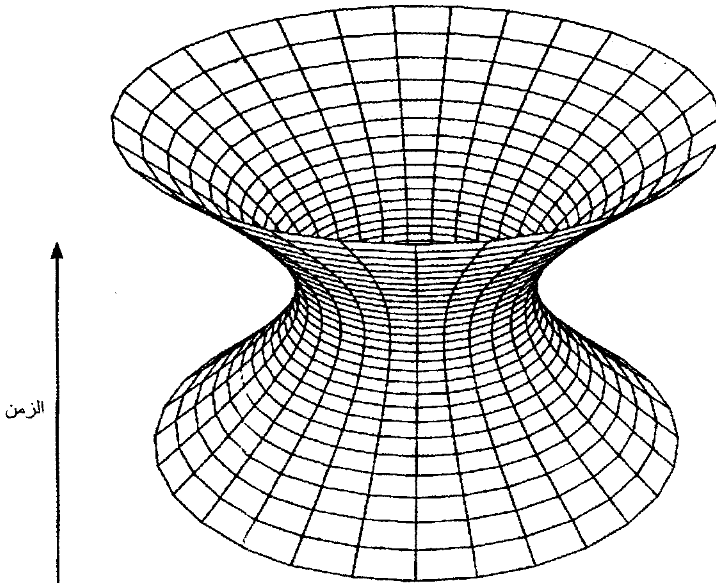
الانتفاخ

قدمت نظرية الانتفاخ لألان جوث فى عام ١٩٨١ تفسيرا للسبب فى أن الظروف الابتدائية فى الانفجار الأعظم كانت منتظمة تقريبا، ولكن ليس تماما.

نجد اليوم فى الكون أربع قوى أساسية: القوى النووية الشديدة، القوى النووية الضعيفة، والكهرومغناطيسية والجاذبية. ولكل من هذه القوى شدتها، وأضعفها الجاذبية. فى الحقب الكونية المبكرة للغاية ربما كانت هذه القوى متساوية فى شدتها وموحدة فى قوة واحدة (ربما يأتى اليوم الذى تشرح فيه نظرية كل شىء المأمولة ذلك). وبناء على ذلك ربما اختلفت قوانين الفيزياء فى هذه المرحلة المبكرة من عمر الكون عنها الآن، وعلى هذا ربما فى ذات المرحلة اختلف الثابت الكونى (كثافة طاقة الفراغ). لم يأخذ أينشتاين هذه الإمكانية فى اعتباره. اقترح جوث أن كثافة طاقة الفراغ فى مراحل الكون المبكرة جدا كانت هائلة، مكونة نصيب الأسد من صور الطاقة فى الكون، بحيث تشكلت بنيتها الهندسية وفقا لنظرية أينشتاين للنسبية العامة. ترى كيف كان يبدو ذلك الشكل الهندسى؟ لقد كانت الإجابة على هذا السؤال معروفة سلفا.

عندما فكر أينشتاين فى الثابت الكونى عام ١٩١٧، استخدمه – إلى جانب المادة المعتادة – ليصل بالكون إلى شكله الاستاتيكى، على أنه فيما بعد وفى نفس السنة تساءل الفلكى الهولندى "فيليم دى سيتر" ماذا تراه كان يحدث لو لم يكن للكون إلا هذا الثابت الكونى لا غير! يطلق على نتيجة هذا التصور زمكان دى سيتر والذى يمثله الشكل ٢١، ويبدو سطحه فى هيئة ساعة رملية متناهية الكبر وذات مخروطين يمثل أحدهما الماضى، ويمثل المخروط الآخر المستقبل، ومتصلين عبر منطقة وسطى

ضيقة، وكما بينا فى الرسومات السابقة يصور هذا الشكل بعدا مكانيا واحدا ملتفا حول نفسه أفقيا، وبعدا زمانيا فى الاتجاه العمودى، فهو كون مغلق ثلاثى الكرات يبدأ فى الماضى اللانهائى بحيز لانهائى أيضا يضيق بالتدريج بسرعة الضوء تقريبا. ويسبب التأثير الطردى الناجم عن الثابت الكونى تباطؤ هذا الضيق أولا، ثم انعكاسه بعد أن يصل حيز الكون إلى قيمة دنيا، فيبدأ فى التمدد ببطء أولا، ثم على نحو آخذ فى التسارع حتى يدنو فى الختام من سرعة الضوء. إذا قطعت النموذج الذى يبينه شكل ٢١ بمستوى أفقى فإن المقطع سيكون دائرة تبين محيط الكون ذى الثلاث كرات عند زمن معين. حرك المستوى الأفقى ببطء من القاع فى اتجاه الطرف العلوى من الرسم، فسترى كيف يتقلص مقطع الدائرة فى البداية حتى قيمة دنيا عند المنتصف المختنق ثم يتمدد ثانية.



شكل رقم (٢١) - زمكان دى سيتر

لو أن هناك جسيمات فى مثل هذا الكون لكان لها خطوط عوالم منحنية وفى اتجاه عمودى. تتقارب هذه الخطوط من بعضها فى البداية، وتصل إلى أقصى تقارب بينهما عند الخصر (كالثوب النسائى) ثم تتباعد عن بعضها أعلى الشكل. وفيما تتزايد سرعة الجسيمات حتى تصل إلى سرعة الضوء يبدأ نموذج "زمكان دى سيتر" فى اتخاذ شكل أشبه بمخروط ذى زاوية مقدارها ٤٥ درجة إلى الخارج. وحين تبدأ الجسيمات فى الحركة نحو الخارج بسرعة تدانى سرعة الضوء، تتباطأ دقات "ساعتها الزمنية" أكثر فأكثر كما تقضى النسبية الخاصة. وفيما تتباعد الأزمنة بين الدقات يتمدد الكون كذلك. وفى الحقيقة "تشاهد" الجسيمات محيط الكون متناميا بصورة أسية (٢، ٤، ٨، ١٦، ٣٢، ٦٤ وهلم جرا) كدالة فى توقيت ساعة هذه الجسيمات.

أطلق "جوث" على مرحلة التمدد فى كون دى سيتر اسم الانتفاخ **Inflation** حيث يظل حجم الكون محافظا على تضاعفه - كمثل تضاعف الأسعار فى فترة تضخم مالى عصيبة - فتتزايد المسافة بين جسيمين فى صورة أسّية بالمثل، كما تقسيها ساعاتهما الآخذة فى التباطؤ. وفى خاتمة المطاف سيتراءى لهما أنهما يتباعدان بأسرع من سرعة الضوء. على أن هذا لا يمثل أى تناقض(١٠). فالنسبية الخاصة تشترط فقط أن شيئين لا يمكنهما المرور أحدهما بالآخر بأعلى من سرعة الضوء ولكن لا شىء فى النسبية الخاصة يمنع أن يتمدد المكان بين هذين الشيئين بسرعة لا يمكن للضوء أن يتجاوزها.

لما كان زمكان "دى سيتر" يمثل كونا متقلصا يؤول فى النهاية إلى انسحاق - على وجه التقريب - ثم يعود إلى التمدد فهو يبدو كما لو كان قد صنع لمن يحبذون نموذج الكون المتذبذب. حينما يتقوض كون إلى انسحاق أعظم فإنه يسخن ويسخن بانضغاط المادة إلى كثافة عالية، ويتضاءل سطح الكون المتقوض مع الوقت - مثل القمة فى كرة القدم فى شكل ١٩ وفى الختام سيسخن بما يكفى لكى يسبب تغيرا فى حالة الفراغ الكمى، مكونا ثابتا كونيا كبيرا. وتأثيرات هذا الثابت الكونى الطاردة من

شـأنهـا أن تبطئ من الانكمـاش ثم تعكسـه بـحـيث يصل الكون إلى الحد الأدنى من الحجم عند (الخصر) فى نموذج "دى سيتر" ثم يرتد إلى التمدد.

وإليكم تصويرا لذلك: اعتبر دورة من دورات كون متذبذب واقطع من نموذجها القمة المحتوية على الانسحاق الأعظم(كما لو كنت تقتطع طرفا دقيقا لسيجار). ضع قطعة صغيرة من زمكان دى سيتر لها شكل الساعة الرملية على قمة النموذج. اقطع الجزء الأسفل من الدورة التالية وأضف الجزء المتبقى من كرة القدم الأخيرة هذه إلى قمة ساعة "دى سيتر" الرملية الصغيرة. إنك بذلك قد تخلصت من مفردتى الانفجار الأعظم والانسحاق الأعظم، متخطيا الفجوة ما بين مرحلة تقوض الدورة المتذبذبة ذات الشكل المشابه لكرة القدم، والتالية لها بقطعة صغيرة من زمكان دى سيتر تشبه الساعة الرملية.

ومحيط زمكان "دى سيتر" عند هذا الخصر (الاختناق) طبقا لهذا السيناريو بالغ الصغر (من ١٠ -٣٣ إلى ١٠ - ٢٦ سنتيمتر). إنه يشبه نقطة تقريبا، كأنه انفجار أعظم مفرد، وبالنسبة لراصد خلال مرحلة التمدد التالية سيبدو هذا الكون تماما مثل نموذج الانفجار الأعظم.

ووفقا "لجوث" ، فإن مرحلة دى سيتر تجيب على السؤال: كيف بدأ تمدد الكون؟ لقد كان ذلك بتأثيرات الجذبوية السالبة للثابت الكونى المبكر والذى بدأ التمدد. وفى خاتمة المطاف تحللت حالة الفراغ الانتفاخى ذات الكثافة العالية، إلى فراغ معتاد. حدس "جوث" أنه عند هذه النقطة تحولت كثافة الطاقة فى الفراغ الانتفاخى إلى إشعاع حرارى ساخن معتاد، واستمر التمدد تماما كما فى نموذج الانفجار الأعظم. وفى تلك الظروف من وجود الإشعاع العادى والمادة فقط، أمكن للتمدد أن يتباطأ مع الزمن، بالضبط كما فى نموذج الانفجار الأعظم.

لقد تفهم "جوث" الآن، لماذا كان الانفجار الأعظم على هذه الدرجة من الانتظام؟! لقد وصلت المناطق التى أتيح لها الوقت كى تتبادل الإشارات الضوئية إلى الاتزان عند

نفس درجة الحرارة. عندئذ ومع اطراد انتفاخ الكون وتضاعف حجمه خرجت هذه المناطق من مرحلة الحاجة للاتصال ببعضها، حيث لم يعد بمقدورها أن تتبادل الإشارات الضوئية، ولكن ... وبعد ذواء الفراغ الانتفاخى، تباطأ التمدد وعادت هذه المناطق إلى الاتصال ببعضها مرة أخرى. وكما نوه "بيل برس" الفيزيائى الفلكى فكأنها تقول لبعضها "مرحبا" ثم " إلى اللقاء".. ثم "مرحبا" مرة ثانية. إن المناطق التى وصلت إلى نفس درجة الحرارة قبل الافتراق تعيد الترحيب ببعضها، وهى أيضا فى حالة اتزان حرارى. عندما ننظر إلى خلفية الموجات متناهية الصغر فى مختلف الاتجاهات، سنرى جميع المواد فى نفس درجة الحرارة تقريبا. كانت هذه المناطق المختلفة قريبة أصلا من بعضها بدرجة كافية كى تتبادل الفوتونات فى المرحلة المبكرة للكون كما تخيله "دى سيتر". وهذه الحالة من التوازن لا يمكن حدوثها فى نموذج الانفجار العظيم النمطى حيث ستأخذ المناطق التى نراها اليوم فى الترحيب ببعضها البعض للمرة الأولى الآن. وعلى ذلك إذا بدأ كوننا بحالة فراغ ذى كثافة عالية بدلا من مفردة الانفجار الأعظم، لأمكن شرح لماذا كانت خلفية موجات الميكروويف على هذه الدرجة العالية من التجانس كما نرصدها.

على أن هذا التجانس ليس تاما، فالمناطق التى احتاجت - أصلا - للتواصل كانت من الصغر بحيث إن مبدأ اللا يقين يستدعى أن تحدث فيها اضطرابات كمية ذات بال فى كثافة طاقتها من مكان إلى آخر. ومثلما وضح جيمس باردين من جامعة واشنطن وزميلاه "بول شتاينهاردت وميشيل تيرنر" تتجمد هذه الاضطرابات عندما تخرج المناطق من الحاجة إلى التواصل ويكون لها على التقريب نفس المقدار (حوالى جزء واحد من كل ١٠٠٠٠٠) عندما تتلاقى ثانية. ولكن تتضخم هذه المناطق فى الحجم بسرعة بعد خروجها من مرحلة الاتصال فيما يمضى الكون فى مضاعفة حجمه.

وطبقا لنموذج الانتفاخ قد تنمو منطقة كان عرضها أصلا ١٠ -٢٦ سنتيمتر أو أقل إلى بلايين السنين الضوئية حجما. وبوسعنا أن نحسب كيف تتطور الاضطرابات

فى كون منتفخ ونقارن تلك الحسابات بأرصادنا لخلفية الميكروويف لنرى كيف تتفق النتائج جدا.

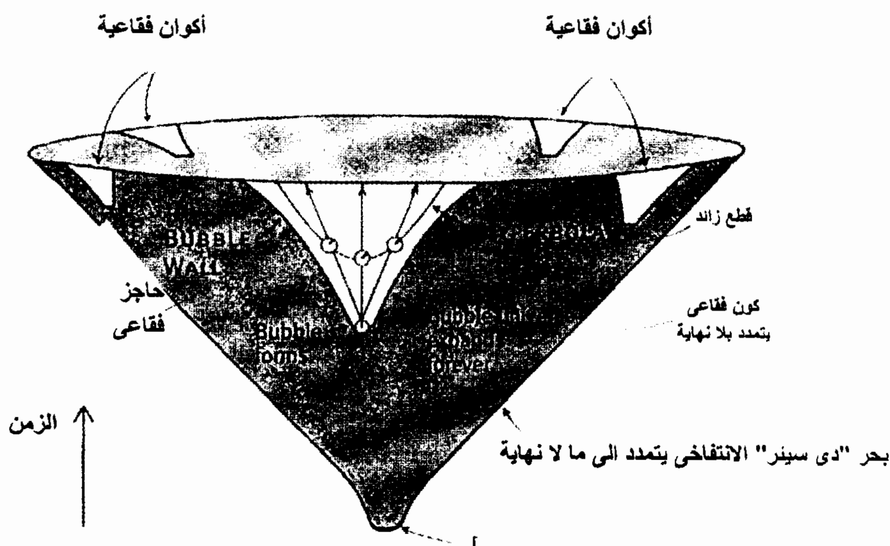
النقطة المهمة هى أن الاضطرابات فى كثافة الكم وفقا للانتفاخ ينبغى أن تكون عشوائية. لذا فإن البناء الهندسى ثلاثى الأبعاد للمناطق عالية ومنخفضة الكثافة فى الكون ينبغى أن يكون متكافئا ، وذلك ممكن ببناء هندسى يشبه قطعة الإسفنج - كما أشارأدريان ميلوت ومارك ديكنسون وأنا شخصياً فى ١٩٨٦ ثم تطور على يد "أندرو هاملتون ودافيد فاينبرج وتشانجبوم بارك ومايكل فوجيلى وترينه ثوان وويس كولى" وأنا شخصيا وغيرنا. إن بنية داخل الإسفنجة تشبه خارجها من حيث الشكل. وقد قيست اليوم عينات من مختلف أنواع المجرات عن طريق مجموعات علماء كثيرة وظهر هذا التوزيع للمجرات الذى يأخذ شكل الإسفنجة، وأظهرت أكبر العينات التى شملت أكثر من ١٥٠٠٠ مجرة تطابقا ممتازا مع النظرية. إنه لأمر مشهود أن تكون التكوينات التى نشاهدها فى كوننا اليوم بمثابة بقايا حفريات لاضطرابات فى الكم وقعت خلال أول ١٠ -٣٥ جزء من الثانية من عمر كوننا. ؟

يشرح الانتفاخ كذلك لماذا يبدو كوننا بهذه الرحابة، فهو يوالى مضاعفة حيزه فى شكل متوالية هندسية (٢، ٤، ٨، ١٦، ٣٢، ٦٤،وهلم جرا) تتزايد بسرعة، فبعد ١٠ تضاعفات يصل الكون إلى ١٠٠٠ ضعف حجمه الأول، وبعد ٢٠ مرة يتضاعف حجمه مليون مرة، وبليون مرة بعد ٣٠ تضاعف. ولعله حدث أكثر من ١٠٠ تضاعف فيكون الحجم قد تضاعف أكثر من ١٠ ٣٠ مرة خلال الحقبة الانتفاخية.

ومما يدعو للفضول أن الثابت الكونى الذى اخترعه "أينشتاين" (خطيئته الأكبر، كما اعتبره) قد حظى بالنجاة فى شكل فراغ انتفاخى يشرح كنه الكون المبكر.

يمكن أن تكون الحقبة الانتفاخية قد أدت إلى الطفرة (١١) التى تحول الانسحاق الأعظم إلى انفجار أعظم. ولكن .. ماذا لو أن المرء بدأ فقط فلنقل عند النطاق الضيق (الخصر) من زمكان "دى ستير، مستبعدا - بذلك - مرحلة الانكماش فيه وكذلك فى

أى كون سابق؟ إن النموذج الانتفاخى للكون ذو خصر دقيق جدا. إنه كون مغلق ذو حجم دقيق أصغر من حجم البروتون. إلا أنه يبدأ فى التمدد مفضيا – فى النهاية – إلى الكون ذى الحجم الهائل الذى نراه اليوم. حقا لقد نوه "جوث" أنك تستطيع أن تبدأ بهنة صغيرة من حالة الفراغ الانتفاخى ومع حدوث التمدد من شأن حيز الفراغ الانتفاخى أن يكبر. لا يمكنك أن تبدأ من العدم(١٢)، ولكن يمكنك أن تبدأ بذريرة بالغة الصغر. ابدأ بأى قطعة دقيقة من حالة الفراغ الانتفاخى، فستنمو إلى ما لا نهاية. كانت هذه – فى الحقيقة – هى المشكلة الوحيدة فى بحث "جوث" الأصلى. وكما أشار "جوث" بنفسه كان الخروج بسلام من هذا المأزق معقدا. ولأن لحالة الفراغ الانتفاخى كثافة طاقة موجبة فمن الخطورة أن تذوى وتؤول فى النهاية إلى فراغ اعتيادى ذى كثافة طاقة أقل.



شكل رقم (٢٢) : أكوان فقاعية تتكون فى فراغ انتفاخى عالى الكثافة.

وطبقا "لجوث" ربما ينتهى الانتفاخ عندما تخمد الطاقة فى الفراغ الانتفاخى وتتحول إلى شكل من الإشعاع الحرارى فوق الفضاء كله فى التو واللحظة. ويشابه ذلك حالة آنية ماء يغلى موضوعة على موقد، لتجد فقط أن ملء الآنية من الماء تحول فجأة إلى بخار، وسيكون توزيع البخار منتظما مثل نموذج الانفجار الحار العظيم الذى رأيناه، إلا أن ذلك مستبعد الحدوث. وكما تعلم، فعندما يغلى الماء على الموقد تتكون فقاعات من البخار. لقد بين "سيدنى كولمان" من هارفارد وزميله "ف. دى لوسيا" أن بحرا من فراغ عالى الكثافة يرجح أن يضمحل عن طريق تكون فقاعات من الفراغ المعتاد فى داخله. ستتمدد كل فقاعة بعد تكونها وسيتحرك جدارها الخارجى - فى النهاية - إلى الخارج بسرعة تدانى سرعة الضوء. وحالة الفراغ داخل كل فقاعة: فراغ معتاد، كثافة طاقة صفر وضغط صفر، وخارج الفقاعة: ضغط سالب (شفط أو مص كونى) وعلى ذلك، فإن حالة الفراغ الانتفاخى فى الخارج ستدفع جدار الفقاعة ببساطة للخارج وتجعلها تتمدد. على كل حال فلن تنفذ الفقاعات وتتسرب حتى تملأ الفضاء بأكمله ، بل ستتصادم كل فقاعتين ولدتا متجاورتين بتمددهما، ولن تقوى فقاعتان ولدتا متباعدتين على التمدد بالسرعة الكافية كى تسدا الفجوة ما بينهما، إذ إن الفجوة ذاتها تمتد بسرعة هائلة. والنتيجة: بحر من الفراغ ذو كثافة عالية آخذ فى الاتساع بلا نهاية، ومحتو على تجمعات من الفقاقيع المنعزلة عن بعضها، وهو توزيع غير منتظم، جد مختلف عن الكون المنتظم الذى نشاهد. ترى هل ولدت نظرية "جوث" الرائعة القوية ميتة حقا؟ لا، فقد أشار "جوث" إلى المشكلة التى يستوجب حلها تمحيص هذه الفقاعات عن كثب.

الأكوان الفقاعية

بين كولمان ودى لوسيا أنه حينما تتكون فقاعة ما عن طريق عملية كم **Quantum Process**، فى فراغ انتفاخى ذى كثافة عالية سيبدأ جدار الفقاعة بحيز ليس بالصفرى، متمددا إلى الخارج أسرع وأسرع (شكل ٢٢). لن يكون بمقدور الأشعة

الضوئية المنبعثة من مركز الفقاعة حال تكونها أن تلاحق جدار الفقاعة الذى سبقها منذ البداية ... واندفع إلى الخارج منسحبا فى سرعة تقارب سرعة الضوء. اعتقد كولمان ودى لوسيا بوجود خواء فى كامل حيز الفقاعة، زمكان مسطح لا يملؤه شىء سوى الفراغ المعتاد، ولكنى اعتقدت أنه طالما أمكن للانتفاخ أن يستديم داخل الفقاعة، فبوسعنا أن نكون كونا انتفاخيا بالكامل - ككوننا - داخل فقاعة واحدة.

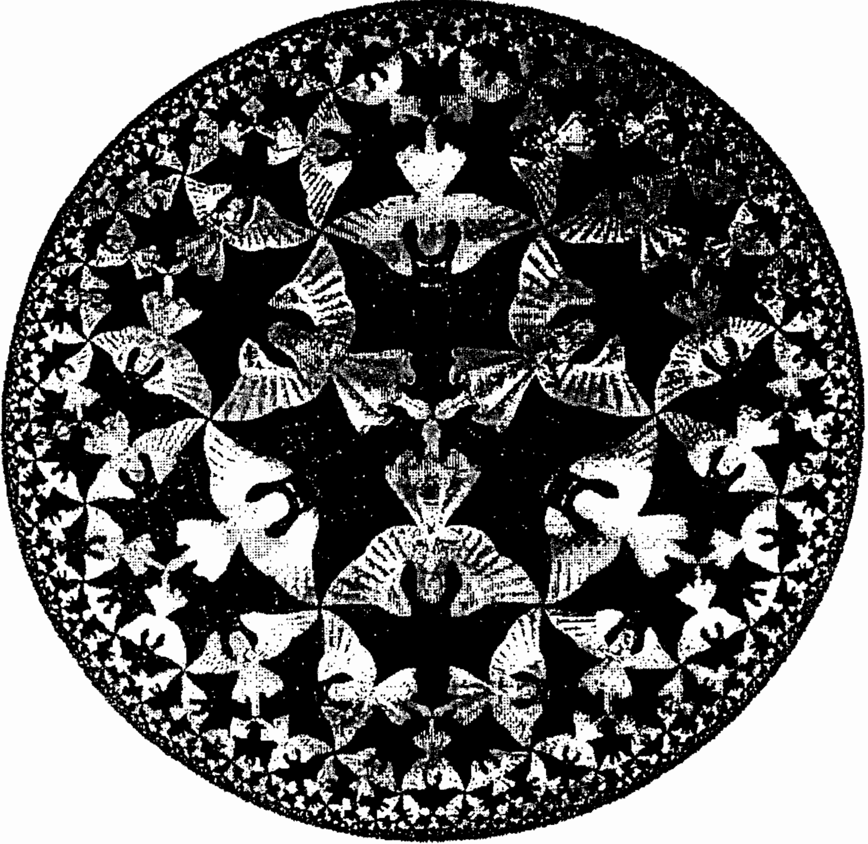
فلنتخيل سفنا صاروخية تمرق - بسرعات مختلفة - خلال حدث (ح) يبدأ عنده تكون فقاعة، ثم تتفرق هذه السفن الصاروخية فى كل الاتجاهات. افترض أن ساعاتها قد ضبطت كلها على توقيت الظهيرة، حينما كانت كلها معا عند (ح)، ثم دع كل ساعاتهم المنبهة تنطلق فى تمام الواحدة كما يصور ذلك شكل (٢٢). إن الحدث (ح) تبينه ساعة منبهة تشير إلى الظهيرة، كما يبين الشكل ثلاثة خطوط عوالم لثلاثة راصدين تتقاطع لدى الحدث (ح) ولها أسهم تشير إلى أعلى. تشير الساعات المنبهة الثلاث إلى الإقلاع فى الواحدة، ويوضح القطع الزائد **Hyperbola** سطح الزمكان[١٣] حيث تنطلق جميعها، والذى سينحنى إلى أعلى صوب المستقبل حالما ينتشر إلى الخارج؛ لأن الساعات على الصواريخ المتحركة بسرعة سواء إلى اليمين أو إلى اليسار تدق بمعدل أبطأ طبقا للنسبية الخاصة، وتحتاج إلى مسار أطول لتبلغ الواحدة.

يمثل هذا القطع الزائد اللانهائى كونا مفتوحا لانهائيا ذا انحناء سالب - النوع السالب من نماذج أكوان "فريدمان". بوسعنا أن نرى كيف يبدو مثل هذا النوع من الأكوان إذا فحصنا إسقاطا خرائطيا لشريحة ذات بعدين مكانيين خلاله. لقد صنع إشر خريطة جميلة لهذا الفضاء وأفعمه بالملائكة والشياطين (شكل ٢٣). إن سطح القطع الزائد ذا الانحناء السالب هذا يبدو جد مختلف عن سطح الأرض ذى الانحناء الموجب الذى نعهده. عندما ترسم خريطة للأرض على مستوى أفقى، فإن الأماكن بالقرب من حواف الخريطة مثل جرينلاند وأنتاركتيكا[١] فى حالة الإسقاط المركاتورى

---

(١) أنتاركتيكا Antarctica قارة ضمن دائرة القطب الجنوبى اكتشفت لأول مرة فى أوائل عام ١٨٠٠ . (المراجع)

- ترسم أكبر مما ينبغى إذا جعلنا مركز إسقاط الخريطة حول قطب الكرة الأرضية الشمالى (كالخريطة على علم الولايات المتحدة) فسنحتاج إلى تطويل (أنتاركتيكا) لمقدار أكبر بحيث تحيط بكل طول الحافة الخارجية للخريطة.



شكل رقم (٢٣) : حد الدائرة (١٩٦٠) للرسام م.ك. إشر
يوضح الشكل كونا مفتوحا سالب الانحناء.

ولكن على النقيض من ذلك، ولأن الكون المفتوح سالب الانحناء (أى مقعر) تبدو الأشياء القريبة من الحافة الخارجية لخريطة (إشر) أصغر من حجمها الأصلى. والحقيقة أن لكل الملائكة والشياطين نفس الحجم. إحص العديد من الملائكة والشياطين ابتداء من المركز، ثم ارسم دائرة عند نصف القطر هذا، سترى المئات من الملائكة والشياطين يزدحمون بطول محيطها. فى مثل هذا النوع من المكان يزيد محيط الدائرة عما نتوقعه بناء على الهندسة الإقليدية. من السهل أن تضل طريقك فى كون مفتوح. يمثل كل ملاك وشيطان فى الشكل مثلثا زواياه ٦٠ درجة عند الأقدام، ٤٥ درجة عند قمة الجناح الأيسر، ٤٥ درجة عند قمة الجناح الأيمن (يلتقى ستة ملائكة وشياطين لدى نقطة عند أقدامهم وإذا قسمنا زاوية الدائرة الكاملة البالغة ٣٦٠ درجة حول تلك النقطة إلى ستة أجزاء بالتساوى حصلنا على زاوية ٦٠ درجة عند كل زوج من الأقدام. وبالمثل يلتقى ثمانية من الملائكة والشياطين فى نقطة تتلامس عندها أطراف أجنحتهم، فيكون نصيب كل طرف جناح ٤٥ درجة، (هى حاصل قسمة ٣٦٠ على ٨). فمجموع زوايا كل مثلث (٤٥ + ٤٥ + ٦٠) تبلغ ١٥٠ درجة أى أقل من ١٨٠ درجة كما نتوقع من الهندسة الإقليدية. ويؤكد هذا أنه مكان مقعر الانحناء. هناك عدد لانهائى من الملائكة والشياطين الممتدين إلى اللانهاية وكل خط خلال مركز الخريطة يمثل قطعا زائدا لانهاية لطوله كذلك المبين بشكل (٢٢).

إذا كانت الفقاعة خاوية، فسنحصل على كون خاو مفتوح ذى كثافة تساوى صفرا كما أشار كولمان ودى لوسيا. ولكن وكما أشرت إذا بقيت كثافة الطاقة فى حالة الفراغ الانتفاخى مرتفعة إلى أن تخمد فى صورة إشعاع حرارى فى الساعة الواحدة، طبقا للساعة المنبهة فى شكل (٢٢)، فإن هذا التحول سيحدث فى مقطع ذى شكل قطع زائد، منشئا كونا مفتوحا - طبقا لتصنيف فريدمان - وممتدا إلى اللانهاية به عدد لانهائى من المجرات ويظل متمددا إلى الأبد. سيعتقد كل واحد من الراصدين الثلاثة فى شكل ٢٢ أنه قابع بلا حركة فى المركز، فى المستقبل مباشرة من الحدث (ح) (تشير الساعة المنبهة إلى وقت الظهيرة) فى حين يتمدد الآخران بعيدا عنه،

وبالمثل يعتقد كل شخص على سطح الأرض – وهو على صواب – أن مركز الأرض يقع تحته مباشرة. وكما أنه ما من وجود لمركز حقيقى للأرض يمكن العثور عليه على سطحها، فلا وجود لمركز للكون يمكن العثور عليه فى الكون اليوم. وتماما كما أن مركز الأرض الحقيقى يقع إلى الأسفل منا فإن المركز الحقيقى لكوننا (الحدث ح) يقع فى ماضينا.

إن كوننا الآخذ فى التمدد برمته وبخطوط العوالم التى تتفرق من (ح) فى سرعات أقل من سرعة الضوء، يمكن أن يُستوعب داخل جدار فقاعة آخذة فى التمدد اللانهائى. ومن المثير للفضول عندئذ أن كونا مفتوحا انتفاخيا يمكن أن يقبع برمته داخل واحدة من فقاعات (كولمان). لقد قلت فى ورقتى البحثية إن كوننا كان مجرد واحدة من هذه الفقاعات، واعتقدت أن ذلك يمكن أن يجابه مشكلة "جوث". فوجهة نظر كل من هو داخل إحدى هذه الفقاعات: أن ما يراه .. منتظم، وفقاعتنا متجانسة. ولكننا لا نرى أية فقاعات أخرى لأننا حين نرسل بصرنا إلى الخارج فإنما ننظر فى الزمن إلى الوراء ومن ثم فنحن نرى نفس فقاعتنا والبحر الانتفاخى الذى سبقها فى الترتيب. لم تصطدم أى من الفقاعات الأخرى بفقاعتنا بعد.

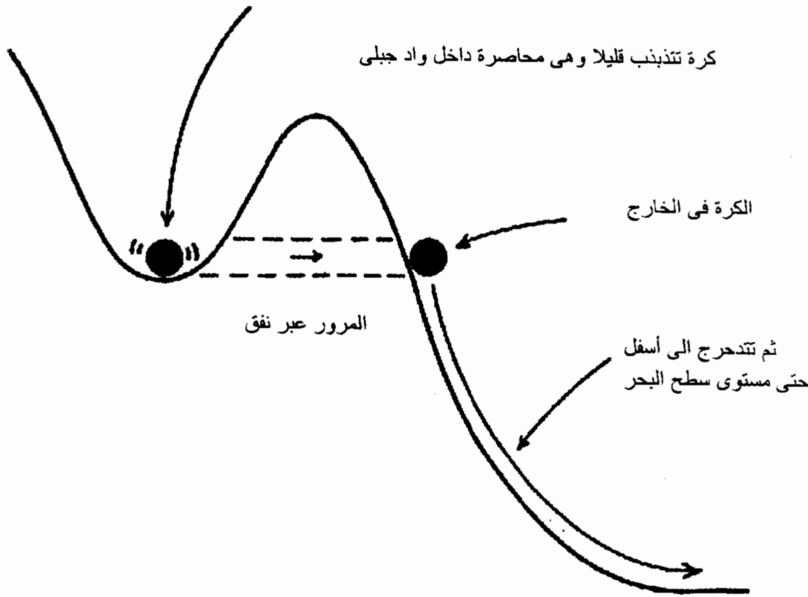
وبعبارة أخرى .. لم يكن مفهوم الفقاعات هو المشكلة، ولكنه كان الحل[٤] أو الإجابة. فى ٢٨ يناير ١٩٨٢ نشرت فى مجلة نيتشر **Nature** بحثى عن الأكوان الفقاعية المفتوحة، وفيما بعد اختير الشكل البيانى الرئيسى فيها ليكون غلاف العدد السنوى من مجلة أخبار الفيزياء فى عام ١٩٨٢ والتى ينشرها المعهد الأمريكى للفيزيائيات. وبالنسبة لفيزيائى مثلى كان هذا بمثابة وضع صورتى على غلاف الرولنج ستون **Rolling Stone**.[١] لقد وجد بحثى سبيله حتى إلى قائمة المراجع فى إحدى روايات "رحلة النجوم" ورواية "السماء الجريحة " **The Wounded Sky** لديان دوين،

(١) الرولنج ستون :مجلة أمريكية مختصة بشئون الغناء و السياسة و الثقافة العامة تنشر كل أسبوعين تأسست فى سان فرانسسكو عام ١٩٦٧. (المترجم).

وكذلك إلى جوار بحث مستر سبوك الشهير **Mathematical Implications of Non-homogeneous Paratopological Convergences Between Orthogonal Unbridged n-Spaces, with substantiating Field Measurements".** تصميمات رياضية للتقاربات غير المتجانسة شبه الطبولوجية بين (ن) من الفضاءات المتعامدة غير المعبورة و قياسات المجال المحققة. من علم "الكونيات العليا الحديث ونشأة الكون - العدد ٣٨٨ - تاريخ نجمى ٩٢٥٨ وبحث بواسطة علماء فيزياء البراكين المرموقين تى باسك **T. Pask**، سيفيك **Sivek**، بى تكر **B'tk'r** وكى تى لك **K'T'lk** من محاضر اجتماعات أكاديمية علوم البراكين. وياله من فخر أن أظهر وسط هذه الزمرة.

تحدد ورقتى أن الانتفاخ سيستمر لوهلة فى داخل الفقاعة. ولكن لم تكن لدى الآلية الملائمة لإنجاز ذلك. وفى الرابع من فبراير والسادس والعشرين من إبريل من نفس العام نشر بحثان مستقلان للفيزيائى الروسى أندريه ليندى، ولأندريز ألبريخيت و بول شتاينهاردت العاملين بجامعة بنسلفانيا. أعطى البحثان سيناريوهات مفصلة لفيزيائيات الجسيمات التى أنتجت مثل هذا النموذج. استخدم الباحثون فكرة أن الفراغ الكمى قد يكون له كثافات طاقة مختلفة لدى المواضع المختلفة من المكان والزمان. وبنفس الطريقة يمكن أن يكون للتضاريس ارتفاعات مختلفة عن سطح الأرض لدى المواضع المختلفة (انظر شكل ٢٤). فإذا افترضنا أن مستوى سطح البحر يمثل مستوى فراغ طبيعى له كثافة صفر فإن الفراغ الانتفاخى ذا الكثافة العالية تمثله نقطة فوق سطح جبل ذى واد. إذا تدحرجت كرة بولنج من موقعها أعلى الجبل إلى مستوى البحر فستطلق - خلال سقوطها - بعض الطاقة. ولكن إذا كانت الكرة بواد داخل الجبل، محاطة بمرتفعات عالية من كل جانب فلن يكون بوسعها أن تتدحرج هابطة. وبالمثل وطبقا لنموذج "جوث" فإن الكون المنتفخ عند بدايته كان محاصرا بحالة فراغ ذى كثافة عالية. وطالما ظل محاصرا - كالوادى وسط الجبل - فإنه استمر فى الانتفاخ. وكان من الممكن أن يستمر محاصراً للأبد لولا تأثيرات ميكانيكا الكم إذ تتيح ميكانيكا الكم احتمالا محددا لأن تشق كرة البولنج نفقا ببساطة خلال المرتفعات المحيطة وتنفذ إلى منحدر تنزلق عليه حتى تصل فى الختام إلى مستوى سطح البحر (شكل ٢٤).

لقد رُصدت ظاهرة الأنفاق هذه على المستوى الكمى. فعندما يتحلل اليورانيوم فإنه يلفظ نواة هيليوم ، تنطلق إلى الخارج بتاثير الطرد الكهروستاتيكى. ومن مقدار طاقة نواة الهليوم الهاربة يمكننا أن نعرف إلى أى مدى كان قربها من نواة اليورانيوم الأصلية عند انبعاثها. ومن دواعى الدهشة أن نجد أن رحلتها يجب أن تكون قد بدأت خارج النواة. لو أنها هربت من الحافة الخارجية المعروفة للنواة، لكان لها مستوى أعلى من الطاقة يتمثل فى طردها بقوة أعنف. كيف ابتعدت فجأة هكذا كثيرا؟ (يستدعى هذا السؤال إلى الذهن مقولة قديمة من أحاجى الزن[1]: كيف تأتى للبطة أن



شكل رقم (٢٤) السلوك النفقى على المستوى الكمى

(١) (أحاجى الزن Zen Koan أحجية متناقضة فى البوذية الزنية، تستخدم كوسيلة للتأمل وكسب المعرفة المدركة بالحس والبديهة) (المراجع).

تخرج من الزجاجة؟ وهناك إجابة واحدة "إن البطة فى الخارج). إن نواة الهليوم تشق لنفسها نفقا للخروج من نواة اليورانيوم، وتبرز فجأة خارجها بدون حتى المرور فى الفراغ البينى. إن جورج جاموف الذى ارتبطت شهرته فيما بعد بالانفجار العظيم - قد أشار إلى ذلك عام ١٩٢٨.

إن ظاهرة الأنفاق هى ما يحدث عندما تتكون فقاعة "كولمان"، وكرة البولنج المحاصرة فى الوادى تمثل الحالة الأصلية لفراغ عالى الكثافة، وكرة البولنج التى تسلك النفق خارجة من الوادى تمثل تكون فقاعة مركزها الحدث (ح). وتظهر الفقاعة بغتة ولها حيز فوق الصفرثم تخرج الفقاعة. إذا سقطت كرة البولنج فى الحال إلى مستوى البحر، سيعنى هذا ترك الفقاعة خاوية، ليس بداخلها سوى الفراغ الطبيعى. إن فتحا عظيما تحقق على أيدى ليندى، وألبريخت وشتاينهاردت بالفكرة التالية: بمجرد هروب كرة البولنج عبر النفق، فإنها ستخرج إلى هضبة عالية مستوية، حيث ستتدحرج أفقيا لبرهة قبل أن تهوى على المنحدر حتى مستوى سطح البحر. على هذه الهضبة العالية حيث لحالة الفراغ كثافة عالية، يستمر الانتفاخ داخل الفقاعة ويجرى السقوط من فوق حافة المنحدر بعد مرور زمن محدد على الحدث (ح) عبر سطح بشكل قطع زائد (حين تشير الساعة المنبهة إلى الواحدة كما فى شكل ٢٢). وتنتج هذه الطاقة المحررة نتيجة السقوط، إشعاعا وتحيل الفقاعة المتمددة إلى نموذج لانفجار عظيم ساخن ومفتوح. لم يشر لا ليندى ولا ألبرخت وشتاينهاردت إلى أن نموذج الفقاعة ينتج كونا مفتوحا، ولكنهم استنتجوا فقط أن فترة الانتفاخ داخل الفقاعة ستطول بحيث تكفى لتكون نموذجا من شأنه أن يكون - اليوم - قريبا من المُسطّح. وأشار "جوث" إلى أن انتفاخا كافيا - بغض النظر عن الشكل الذى كان عليه الكون أصلا - سيكون كفيلا بأن يبدو اليوم مسطحا لو أنه كبر كبرا كافيا (وعلى سبيل المثال لو أن فيلا انتفخ بحيث زاد حجمه تريليون مرة، فإن أى جزء صغير من بدنه سيبدو مسطحا). لقد طاب لجوث هذا الملمح من فكرة الانتفاخ، منوها بأننا إذا رصدنا أن الكون شبه مسطح اليوم، فإن قدرا كبيرا من الانتفاخ كفيل بأن يفسر بسهولة كيف وصل إلى ذلك.

ويبدو أن البيانات الراهنة عن الخلفية الميكروويفية تدعم هذا النموذج الذى يشير إلى كون شبه مسطح فى وقتنا الحالى. ولا يمنع هذا كون الكون مفتوحا ولكنه - وحسب - يشير إلى أن الانتفاخ داخل الفقاعة لابد وأنه قد استمر لحقبة طويلة، فكل نصف القطر البالغ ١٣ بليون سنة ضوئية والواصل إلى إشعاع الخلفية الميكروويفية الذى نشاهده حاليا يمكن استيعابه بأكمله داخل إصبع قدم أحد الملائكة المصورين برسم (إشر). إن الجزء الضئيل من الكون الذى نراه يجب أن يبدو مستويا تقريبا (تماما كما تبدو بونفيل سولت فلاتس Bonneville Salt Flats[١] مسطحة تقريبا رغم أنها فى الواقع جزء صغير من سطح الأرض المنحنى). إن هذا الدليل الدامغ الذى يثبت أن فقاعة قد وُحدت فى الأصل ربما يُنسى عندما يتضخم الكون إلى درجة أن الانحناء السالب المتولد عن تكون الفقاعة يصبح غير محسوس. فى هذه الحالة يمكن أن يكون الكون قد تكون بأى من طرق مختلفة لا فقاعة فقط، كأن يكون ناشئا عن انتفاخ حيز ما له أى شكل آخر.

تقترح خيوط متعددة من الأدلة أن كثافة المادة فى الكون اليوم (متضمنة المادة السوداء التى يعتقد أنها هى التى تمسك تجمعات المجرات معا) أقل بكثير من حد الكثافة الحرجة الكفيلة بإنتاج كون مسطح تقريبا. وأقوى احتمال لكثافة إضافية يأتى من وجود بقايا ضئيلة من كثافة طاقة فراغ تصل اليوم إلى زهاء ٦ × ١٠ $^{-٣٠}$ جرام لكل سنتيمتر مكعب. إنه ثابت كونى طفيف، والقياسات الحديثة للسرعات التى تتباعد بها السوبر نوفات والتى أجراها ساول برلموتر من بيركلى، وروبرت كيرشنر وآدم رايس من هارفارد ومعاونوهم تدعم وجهة النظر هذه، إذ أظهرت تسارع تمدد الكون على ما يبدو (كفضاء دى سيتر فى المراحل المتأخرة منه). وإذا تأكدنا من هذه الحالة فإن لدينا ثابتا كونيا صغيرا، تماما مثلما اقترح أينشتاين. لقد ثبت - فى النهاية -

---

(١) هى أكبر الملاحات بالولايات المتحدة فى شمال غرب أوتاه، ويصل عمق الملح فيها إلى ٦ أقدام، والمنطقة مسطحة تقريباً، وهى بقايا من بحيرة بونفيل فى العصر الجليدى، ومساحتها ٤١٢ كيلومترا مربعا (المترجم).

أن الرجل كان محقا وإن اختلفت الأسباب. وسيسعد ذلك شخصا آخر (إذا كان لايزال على قيد الحياة) [1] هو آبى جورج ليمتر، الذى اقترح فى وقت مبكر من ثلاثينيات القرن العشرين كونا بدأ بانفجار عظيم، ولكنه انتهى إلى تمدد متسارع كنتيجة لثابت كونى صغير. وعلى أية حال تقترح البيانات الراهنة أن كوننا سيداوم على تمدده إلى الأبد.

هل نشأ الكون من العدم؟

تنجح فكرة "الكون الفقاعى" فقط إذا كان للكون المنتفخ بداية، فإذا ما كان الانتفاخ ممتدا إلى ما لا نهاية فى الماضى فإن بنيته الهندسية ستتخذ شكل الساعة الرملية (شكل ٢١). إن الفقاعات المتكونة فى مرحلة الانكماش اللانهائى فيما قبل (عنق) الساعة الرملية ستتصادم مع بعضها، مثل سمكة منتفخة **Blowfish**[2] تطلق نفثاتها فى بحيرة ماؤها آخذ فى التناقص. وسرعان ما تملأ الفضاء بأكمله.. فى عام ١٩٩٤ بين أ.بورد، وألكسندر فيلنكين من جامعة تافتس أن ذلك سيسبب اضمحلال حالة الفراغ الانتفاخى إلى زبد أو رغوة من الفقاعات آخذة فى التناقص حتى تنتهى إلى انسحاق عظيم قبل الوصول إلى (خصر) الساعة ، وقبل أن يعود التمدد ثانية. إذا بدأت من الوسط فى شكل ٢٢ ، على كل حال، فبوسع المرء أن يكون عددا لانهاية له من الأكوان الفقاعية، ورغم أن كل فقاعة فى تنام متسمر فإن الفراغات تنمو بسرعة أكبر مفسحة المجال لمزيد من الفقاعات.

كان لدى فيلنكن فكرة عن كيفية بدء الكون الانتفاخى عند الوسط، وذلك باستخدام الخاصية الفريدة لميكانيكا الكم التى واجهناها آنفا (السلوك النفقى). إن

(١) توفى لوميتر عام ١٩٦٦ قبل تأليف الكتاب بخمسة وثلاثين عاما. (المترجم).

(٢) نوع من الأسماك البحرية القادرة على الانتفاخ بابتلاع الماء والهواء. (المترجم).

هذه الطفرة التى بدأ بها الكون تحتاج إلى أمر غير مألوف، وربما كان السلوك النفقى هو هذا الأمر.

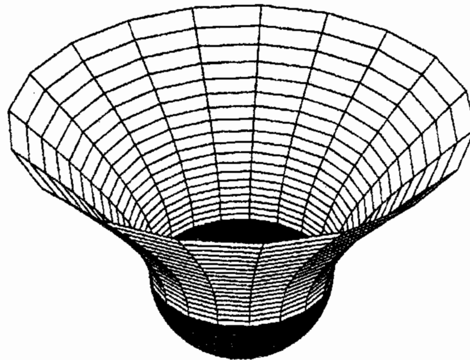
تخيل لاعب بولنج يدحرج كرة إلى أعلى جانب جبل منحدر. ستصعد الكرة إلى أعلى لفترة، ثم تتوقف لحظيا لدى أعلى نقطة بلغتها، ومن ثم ستعود أدراجها لأسفل صوب اللاعب. وبالمثل فرغم أن نموذج فضاء "دى سيتر" القديم للفضاء ينكمش بسرعة فى البداية، فإنه يتباطأ فى ذلك، ثم يتوقف للحظة عند نصف قطر ذى حد أدنى (عند الوسط) ومن ثم يعود إلى التمدد ثانية. ولكن .. فلنفترض كرة بولنج قابعة فى جوف واد جبلى، ستخترق - فى النهاية وطبقا لميكانيكا الكم - جانب الجبل خلال نفق وتبرز على جانبه الخارجى، حيث تبدأ فى التدحرج إلى أسفل. إن عملية الاختراق عبر النفق هذه قد درس احتمالاتها فيلنكين ولندى ويمكن عن طريقها شرح الكيفية التى بدأ بها نموذج دى سيتر للكون من عند الوسط ثم شرع فى التمدد نحو الخارج.

ولكن .. ألم تكن الكرة موجودة فى مكان ما قبل سلوكها النفق؟ ألم تكن فى قاع الوادى الجبلى؟ إن هذه الحالة تناظر حالة كون مغلق ذى حيز معدوم (نقطة القاع من النطاق الأسود فى شكل ٢٥). إنه ليس مجرد حيز من عدم ولكنه قريب من العدم بقدر ما يسع الإنسان أن يتخيل. وفى خلال عملية النفق الكمى خلال جانب الجبل، يمكن وصف البنية الهندسية (الجزء الأسود من شكل ٢٥) بسطح منحن ذى أربعة أبعاد، كلها مكانية وليس بينها بعد زمانى (مربعات المسافات[١٥] فى كل الاتجاهات ذات إشارة موجبة). وفى حضيض القاع يبدأ المكان بشكل دائرة قطرها صفر (أى نقطة، مثل قطب الكرة الجنوبى) ثم تأخذ فى النمو شأن خطوط العرض على سطح الأرض حتى تصل إلى خط الاستواء الذى يمثل الحقبة التى اكتمل فيها السلوك عبر النفق، حيث يبرز الكون من الجانب الخارجى من الجبل (ويمثلها خصر نموذج زمكان دى سيتر). عندئذ يتمدد الكون إلى الخارج (نحو المستقبل) حيث يفرخ فى النهاية

عددا لانهائيا من الأكوان الفقاعية (شكل ٢٢)، ويجعل هذا شكل الكون أشبه ما يكون بكرة لعبة تنس الريشة Badminton . والجزء الأبيض فى الشكل له ثلاثة أبعاد مكانية وبعد زمانى واحد. ربما قال المسافر عبر الزمان فى رواية هـ.ج. ويلز، إن الجزء الأسود هو مكان ذو أربعة أبعاد، ولكنه يستمر لزمن متناه فى الصغر. لا تدق الساعات فى الجزء الأسود فهو جزء مجمد زمانيا، مجرد قطعة من البنية الهندسية يحده من القاع نقطة ومن القمة كرة ثلاثية (كدائرة فى الشكل) حيث تتصل بوسط النموذج ويبدأ الزمن الطبيعى عند الوسط.

أشار هوكنج وهارتل إلى إمكانية تعقب أصل الكون فى الماضى لنصل إلى نقطة القطب الجنوبى له طبقا لتحليلنا، ونوها بأن هذه النقطة لا تختلف فى النوع عن أية نقطة أخرى فى المنطقة السوداء. وأشارا إلى أن الشكل الهندسى لظاهرة النفق يحقق ما أسمياه شرطا لاحديًا No Boundary Conditions يلغى الشروط الابتدائية Initial Conditions (مثل مفردة الانفجار الأعظم الابتدائى).

ويمكن القول هنا بأن الكون قد هيأ لنفسه بنفسه الشروط الابتدائية. وبعبارة أخرى كان الكون .. هذا كل شىء وليس للبداية نهايات غير محكومة. إن سطح عملية



شكل رقم (٢٥) كون سلك سلوكا نفقيا من العدم.

النفق الأسود له حد ينتهى عنده (الذى يصله بالوسط) ولكن ليس له حد بداية (وبنفس الطريقة يمكن أن يقال إن نصف الكرة الجنوبى يحده فقط خط الاستواء من أعلى بينما لا حدود سفلى له). إن فكرة أن كوننا قد تكون (ذاتيا) من تراوحات كمومية تعود إلى عام ١٩٧٣ عندما فكر فيها أ.ب. تايرون.

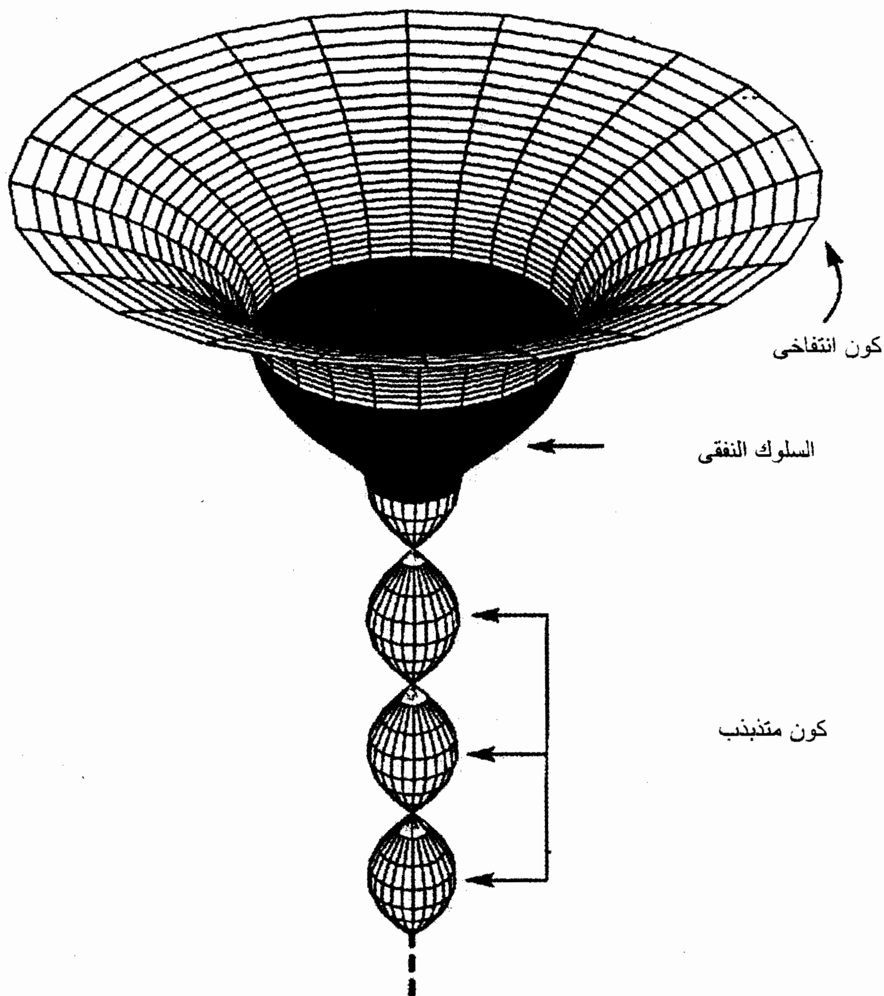
على أن مشكلة تعرض لى فيما يتعلق بهذا النموذج، إنه لا يبدأ من العدم فى الواقع، ولكنه يبدأ من أمر ما .. من حالة كمومية تسلك أسلوب النفق لتبرز للوجود وتصبح زمكانا طبيعيا.

والآن .. عودة إلى "لى تشين لى": لقد عثر على مشكلة أكبر يمكن أن تعترض هذا النموذج. إن ظاهرة النفق على المستوى الكمومى لها عادة نهايتان (كما للنفق مثلما تعنى الكلمة) وعلى كلا النهايتين يوجد زمكان متاح. يمكن كذلك أن يُؤوّل الكون النفقى بأنه ابتدأ حقيقة من كون فريدمان المتذبذب ذى الحيز صفر، المناظر لكرة بولنج قابعة فى واد جبلى قبل سلوكها النفق. ويخبرنا مبدأ اللا يقين - على كل حال - أننا لن نعثر مطلقا على كرة البولنج مستقرة فى سكون تام بقاع الوادى، ولكننا نتوقع أن نجد كرة البولنج تتذبذب برفق، مع عدم يقين طفيف فى كل من موضعها وسرعتها (عد لطفا إلى شكل ٢٤). وفى هذا النموذج يناظر ذلك فى نموذج فريدمان كونا متذبذبا ذا حجم بالغ الضآلة (نحو ١٠ -٣٣ سنتيمتر) بثلاثة أبعاد مكانية وبعد زمنى واحد، تتوالى عليه سلسلة من الانفجارات والانسحاقات قبل مرحلة السلوك النفقى (انظر شكل ٢٦). ليس من شأن مثل هذه الانفجارات والانسحاقات أن تفرز أية مفردات (فذاذات)، لأن الأخيرة ستسطحها ظواهر الكم. وفى كل مرة يصل فيها هذا الكون المتراوح إلى تمدده الأقصى، تكون لديه فرصة محددة لاختراق نفقى (بحيث يصير مكانا ذا أربعة أبعاد بلا بعد زمنى وهو المنطقة السوداء فى شكل ٢٦) ويبرز من الجانب الآخر كزمكان متمدد على نموذج "دى ستير". وإذا فشل فى سلوك النفق، فإنه فقط سيتدحرج إلى قاع الوادى ويستمر فى تذبذبه هناك. وكل ذبذبة تمنحه

فرصة للسلوك النفقى إلى أن يتحقق ذلك فى النهاية. فى شكل ٢٦ يصل المسلك النفقى (باللون الأسود) ما بين زمكانين اعتياديين (غير مظللين فى الشكل) أحدهما كون متذبذب والآخر انتفاخى (أليس للنفق نهايتان!).

ولكن فلنعد التساؤل: من أين أتى الكون المتذبذب أصلا؟ لا يمكن أن يكون جوالا منذ الأزل لأنه باعتباره نواة ذات نشاط إشعاعى ذو عمر محدود. إن تفسير نشأته مشكلة تعيدنا إلى حيث بدأنا. لايزال فيلنكين يعتقد فى إمكانية مضينا بدون كون متذبذب يؤذن بغيره. إنه يشبه تمدد نموذج دى سيتر بجدار فقاعة آخذة فى التمدد بداخل حيز أكبر منها آخذ هو الآخر فى الانتفاخ. إنه يحاول إقناعنا بأنه قبل تكون الفقاعة ليس هناك حل يتمثل فى جدار متذبذب ، ولكن قبل ذلك كان هناك شىء ما هو فى هذه الحالة بحر هائل الأبعاد آخذ فى الانتفاخ. حبذنا - لى تشين لى وأنا - ما يتطلبه حدث المسلك النفقى الكمومى من وجود نهايتين يربطان بين زمكانين عاديين. إذا قلنا إن شيئا ما خرج من النفق، فلابد من وجود شىء كائن قبل الخروج. حقا إن مرحلة المروق فى النفق فى نموذج هارتل وهوكنج لم تتضمن أية مفردات فى الشكل الهندسى (الجزء الأسود فى شكل ٢٥) بدقة لأن هناك واديا جبليا على الجانب الآخر. وقد حاول هوكنج ونيل توروك مؤخرا طرح نموذج يخرج فيه الكون من جانب خارجى لجبل آخذ فى الارتفاع وليس به أية وديان. فى هذه الحالة يبين الشكل الهندسى لظاهرة السلوك النفقى مفردة فى المنطقة السوداء، ولكن .. ألم تكن المفردات هى ما كنا نحاول تحاشيه فى المقام الأول؟

يبدو من الصعوبة بمكان التصديق بخروج الكون من العدم بمعناه الحرفى. ماذا بمقدور العدم أن يعرف عن قوانين الفيزياء! وفى الحساب الختامى إن أى نموذج لحدوث الظاهرة النفقية من لا شىء يبدأ بحالة كمومية تخضع لكل قوانين الفيزياء ، وهذا ليس بلا شىء. حقيقة ربما اعتبرت محاولة جعل الكون يأتى من لا شىء محاولة شاذة، لأن "العدم" هو الشىء الذى يبدو بحكم التعريف غير موجود. وربما كان السؤال عن كيفية خلق الكون من العدم سؤالا خاطئا. وربما لم تكن تلك هى الكيفية التى ظهر بها الكون.



شكل رقم (٢٦) يؤول الكون المتذبذب الصغير فى النهاية إلى السلوك النفقى.

هل بمقدور الكون أن يخلق نفسه

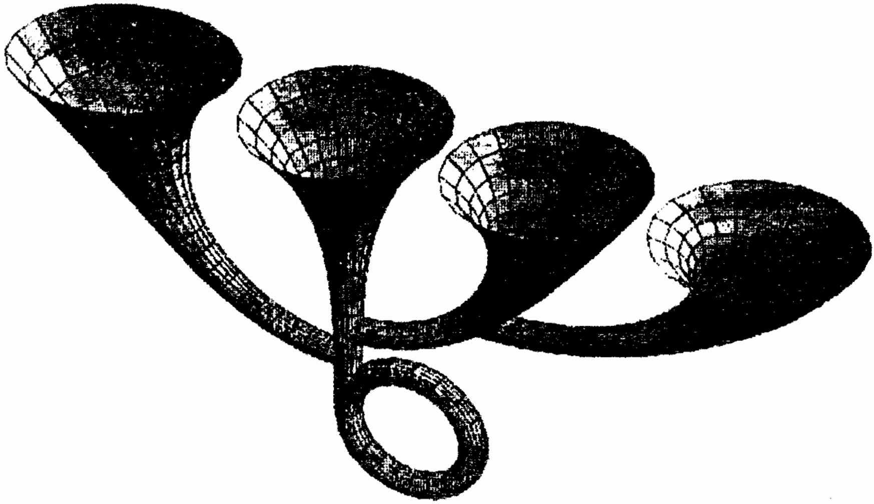
عندما كتبنا "لى تشين لى" وأنا بحثنا عن علم الكونيات، اخترنا عنوانا له السؤال التالى "هلى بمقدور الكون أن يخلق نفسه بنفسه؟" وكان رأينا: لعل الكون لم يخلق من عدم، ولكن من شيء ما وكان هذا الشيء هو نفس الكون. كيف يتأتى لهذا أن يحدث؟ عن طريق السفر عبر الزمن. ربما كان للكون البنية الهندسية التى تتيح له العودة إلى الخلف فى الزمان وخلق نفسه، أى إن باستطاعة الكون أن يكون هو أمه.

يجوز أن يحدث هذا من خلال عملية تتعلق بالنظرية التى اقترحها أندريه ليندى والمسماة الانتفاخ الفوضوى (١٦) **Chaotic Inflation**. لقد تحقق "ليندD" من أن التذبذات الكمومية يمكن أن تيسر للزمكان أن يثب نحو كثافة طاقة فراغ أعلى ومعدل تضخم أعلى (تخيل كرة بولنج تثب على حين غرة - بفضل قوانين الكم - من سهل ساحلى إلى داخل الجبل). شرح ذلك كيف يمكن للتضخم أن يبرز للوجود تحت ظروف عامة للغاية، بحيث أصبح هو السيناريو النمطى للانتفاخ الذى نناقشه اليوم. ووفقا لـ "لندى" يمكن بسبب هذه التذبذبات الكمومية وطفراتها فى معدل الانتفاخ أن ينبثق من الكون المنتفخ أكوان وليدة، بالطريقة التى تنمو بها الفروع المنبثقة من جذع شجرة. ثم يمضى كل كون وليد منها فى الانتفاخ حتى يصل إلى حيز يضارع الجذع الأصلى، وتتبرعم منه هو أكوان وليدة جديدة. قد يستديم هذا إلى الأبد: فروع الأكوان المنتفخة تتفرع من جذوع الأكوان الأقدم، مكونة فى النهاية دوحة هائلة (ولمعلومات تفصيلية عن هذه النظرية المهمة أرجو الرجوع للملحوظات). وما لم تكن مرحبا بهذا التبرير القائم على قبول مقولة "إنها السلاحف التى ستصادفها كلما ذهبت لأسفل"، فإن المنطق يقتضيك أن تسأل كيف ظهر جذع الشجرة أصلا.

اقترحنا لى تشين لى وأنا فى بحثنا عن علم الكونيات أن واحدا من الفروع انحنى للخلف - ببساطة ليصبح هو الجذع. يبين شكل ٢٧ أربعة أكوان انتفاخية وليدة (من اليسار إلى اليمين). إن كلا من هذه الأبواق المنتفخة سيصير - فى الأزمنة

المتأخرة - زمكانا منتفخا حسب نموذج دى سيتر. وطالما أن لكل منها بداية (أى خصرا) عند نقطة التقائها بالجذع، فباستطاعة كل منها أن (يفرخ) عددا لا نهاية له من الأكوان الفقاعية مثل تلك التى يصورها شكل ٢٢؛ ونكرر مرة أخرى أن السطح هو ما يهمنا فى الرسم. يمكن لكل (بوق) أن يتمدد إلى الأبد دون الاصطدام بآخر. إن الأكوان التى بأقصى اليسار وأقصى اليمين لم (تنجب) بعد أية أكوان وليدة، ولكنها - إذا منحت الوقت الكافى - ستفعل. لقد نشأ كل كون وليد بنفس آلية التفرع، وتنطبق قوانين الفيزياء فى كل مكان، ولا وجود لمفردات. إذن .. ماذا عن العروة الشاذة عند القاع؟ حسنا .. لقد جاءت من كون وليد دار دورة كاملة فى الزمان إلى الخلف لصبح هو الجذع.

لابد من الاعتراف بأن هذه البنية الهندسية تبدو كانقلاب مفاجئ. ولقد أشارت



شكل رقم (٢٧) الكون خالف نفسه

طبقا لهذا النموذج حيث تفرخ الأكوان أكوانا أخرى، إذا وجدت عروة زمانية فى البداية ، فإن ذلك يسمح بأن يكون الكون هو (أم) نفسه

زوجتى إلى أنها تشبه إحدى مصورات دكتور "سويس" جامحة الخيال، وقد وافقها "نيل دى جراس تيسون" مدير قبة هايدن السماوية، قائلا إنها تشبه آلة موسيقية من نوع جديد: كبوق فلوجيل [1] غريب ربما. فأجبت "أجل .. وهو بوق يعزف وحده بلا حاجة إلى عازف!"

لا وجود – فى نموذجنا – لحدث أكثر تبكيرا، فكل حدث – أيا كان – سبقته أحداث أخرى. غير أن للكون بداية محددة، وفى العروة الزمنية بالقاع على وجه التحديد فإن كل حدث مسبوق بأحداث موجودة فى اتجاه عقارب الساعة بالنسبة له فى العروة. فلنفترض أننا نحيا فى الكون الأول من اليمين، ذلك الكون الذى يمثل أبعد الأكوان عن شجرة الأصل. فباعتبار عدد لا نهائى من الفروع، المرجح أننا نحيا فى فرع تكون متأخرا عن الكون الأول. فلنعد القهقرى فى الزمن ونهبط من فرعنا وندخل الكون الذى إلى يسارنا ومنه إلى جذع الكون (الثانى على يسار الرسم) ومن ثم إلى العروة عند أسفل الرسم، حيث نستمر فى الدوران والدوران فى العروة إلى الأبد. بنفس الطريقة ليس على سطح الأرض المنحنى نقطة هى أبعد نقطة ناحية الشرق. بوسعك أن تستمر فى ترحالك شرقا حول الأرض، ومع ذلك فالأرض ذات جرم محدود. فلو أن الأرض كانت مسطحة كما اعتقد القدماء ، لكان لها حافة فى أقصى شرقها، أو لامتدت شرقا إلى ما لا نهاية. ولكن لأنها محدبة فإنها محدودة وإن ظلت بلا نقطة قصوى إلى الشرق. وبالمثل، لما كانت النسبية العامة تسمح بهندسة الأسطح المنحنية، فيمكن أن يكون لدينا كون ... دون أن يكون هناك حدث أكثر قدما.

لقد أحدث نفسه بنفسه.

---

(١) آلة موسيقية نحاسية تشبه الكورنيت والساكس، ولكن بصوت أحد قليلا وتناسب طبقة التينور الصوتية وبوقها أكثر اتساعا. (المترجم).

إن هؤلاء الذين يجزمون بأن الكون ينبغى إما أن يكون له إما علة أولى، وإما أن يكون قد وجد منذ زمن لا نهائى فى الماضى لم يتصوروا زمكانات منحنية. ويحل هذا مشكلة "العلة الأولى" بطريقة كان من المستحيل أن تفهم معها قبل النسبية العامة.

يشمل نموذجنا أفق كوشى يفصل ما بين نطاق السفر عبر الزمن عن النطاقات المتأخرة التى لا يجوز فيها سفر عبر الزمن . يدور هذا الأفق حول الجذع مباشرة بعد ظهور العروة الزمنية. إذا كنت تحيا قبل ذلك فأنت داخل عروة الزمن، ويمكنك أن تسافر (محليا) صوب المستقبل بالذهاب فى اتجاه عقارب الساعة طوال الطريق حول العروة الزمنية للعودة إلى ماضيك أنت. ولكن لو أنك تعيش فى المستقبل من النقطة التى تنبثق عندها العروة الزمنية، فإنك ستستمر فى مسيرتك صوب المستقبل إلى أعلى الشجرة، ولكن لن يمكنك العودة إلى الوراء للعروة بقاع الرسم. فآلة الزمن تعمل فى بداية الكون ولكنها تتوقف بعد ذلك.

نشر بحثنا "هل بمقدور الكون أن يخلق نفسه؟" فى "الفيزيكال ريفيو D" (المجلة الأولى فى مجال فيزيائيات الجسيمات) فى مايو ١٩٩٨، واحتوى على ١٥٥ معادلة، ١٨٧ مرجعا، لكن فكرته الأساسية يمكن تلخيصها فى شكل ٢٧ وكُرس معظم البحث لتوضيح إمكانية العثور على حالة فراغ كمومى مترابطة ذاتيا للنموذج، وأمكننا العثور على حل ذى ترابط ذاتى عند طول محدد للعروة الزمنية، هو الطول الذى يساوى – عند حسابه ككسور من النانو ثانية – المحيط الابتدائى لفرع فضاء دى سيتر مقوما بكسور من القدم. فى هذه الحالة ستتعادل بالضبط كثافة الطاقة السالبة لفراغ ريندلر مع كثافة الطاقة الموجبة الناتجة عن البرم والالتفاف حول عروة زمنية مغلقة وتلغى كل منهما الأخرى ، مخلفتين حالة فراغ انتفاخى صاف ذى كثافة طاقة موجبة وضغط سالب فى كل الحيز، وهو المطلوب تماما لإنتاج الشكل الهندسى لنموذج دى سيتر الذى بدأنا به، وحالة الفراغ المنتظم هذه لا تتعاظم عند أفق كوشى أو فى أى مكان آخر. وهو حل ذو ترابط ذاتى.

فى الوقت الذى يكون فيه الفرع قد دار ملتفا حول الجذع يكون محيطه قد زاد بمعامل قدره هـ٢ط أى ٥٣٥,٤٩١٦٥٥٥ ولكى نقرب هذا من التصور، تخيل جذع

شجرة يصل محيطه إلى ٥٣٥ بوصة، وله فرع منبثق منه طول محيطه بوصة واحدة، وتخيل أن الفرع يلتف دائريا وينمو ويصبح هو الجذع. يصل الطول فى اتجاه عقارب الساعة حول العروة الزمنية إلى حوالى ٥ × ١٠ -٤٤ ثانية، وتبلغ كثافة حالة الفراغ ذات الترابط الذاتى نحو كثافة بلانك أى ٥× ١٠ ٩٣ جرام لكل سنتيمتر مكعب. إنها - بالكاد - الكثافة التى يتأكد المرء عندها من أن تأثيرات الجاذبية الكمومية تصبح ذات بال. ليس لدينا نظرية لجاذبية الكموم فى الوقت الراهن، ولكن يبدو جليا فى هذه الظروف من الكثافات الهائلة والزمن المتناهى الصغر أن عدم اليقين فى البنية الهندسية يصبح حرجا. لم يعد سطح المكان ناعما، ولكنه صار معقد التركيب ذا تشابكات إسفنجية الشكل من العروات يطلق عليها "رغوة بلانك" **Planck Foam** . ومن شأن هذه الظاهرة فى الواقع أن تجعل من الصعب تجنب عروات الزمن من النوع الذى اقترحنا لى تشين لى وأنا أنه أسهل فى العمل. وجدنا كذلك أنه لو صاحب إدخال الثابت الكونى توحيد القوى الشديدة والضعيفة والكهرومغناطيسية فإن حلا آخر مترابطا ذاتيا يصبح ممكنا، له عروة زمنية طولها زهاء ١٠ -٣٦ ثانية. وفى هذه الحالة ستكون الكثافة أقل بكثير من كثافة بلانك بما يتيح إهمال تأثيرات الجاذبية الكمومية، وتكون حساباتنا الحالية كافية بوضعها الراهن. وفى كلا الحالتين فالعروة الزمنية قصيرة (١٧) قصرا غير مألوف. ورغم أنه ليس لدينا "نظرية كل شىء" بعد، فالمعالم العامة لحساباتنا تطرح إمكانية مثيرة لوجود آلة زمان صغيرة عند بداية الكون.

ويبدو حلنا - فى نفس الوقت - مستقرا، ولقد توطد هذا بالحسابات التى أجراها بدرو ف.جونزاليس دياز الذى يعمل فى معهد هوكنج بجامعة كامبردج، فقد وجد الحل مستقرا فى مواجهة كل الاختلالات إذا بلغت العروة الزمنية القصيرة ٥ × ١٠ -٤٤ ثانية طولا.

بعد ظهور بحثنا تلقينا العديد من الرسائل الإلكترونية الطريفة من زملائنا. كتب لنا "جون بارو" وهو واحد من خبراء العالم فى المجال المسمى بعلم الكونيات الإنسانى Anthropic Cosmology، أنه قد سبق له أن ذكر إمكانية وجود المنحنيات المغلقة زمانية السمة فى الكون ببحث له يرجع إلى عام ١٩٨٦ كان السفر عبر الزمن فى هذا البحث مازال يعتبر خيارا غير جذاب، ربما لأن الناس لم تأخذ فكرة السفر عبر الزمن - قبل عمل كيب ثورن (١٨) - على محمل الجد.

والسيناريو الذى طرحناه "لى تشين لى" وأنا - شأنه شأن فكرة الانتفاخ - يمثل إطارا عاما للمفاهيم. فأى مخطط تتكون فيه أكوان وليدة يمكن أن يتغير فى نموذجنا لو اتضح أن واحدا من هذه الأكوان الوليدة صار هو الكون الذى بدأت به. فى MIT معهد ماساتشوستس التكنولوجى) طرح الفيزيائيون "إدوارد فارهى" وجوث وجمال جوفين فكرة إمكان خلق الأكوان الوليدة فى المختبر عن طريق مدنية متطورة وأرقى فى المستقبل. وتمشيا مع هذه الفكرة يمكن للمرء أن يكبس كرة كتلتها ١٠ كيلوجرامات حتى تبلغ أقصى حدود الكثافة. ومن شأن هذه الكرة أن تدخل فى حالة فراغ عالى الكثافة يتسبب ضغطه السالب (أى شفطه) فى انفجار الكرة. وعلى حين يكون ذلك عادة مجرد ثقب أسود، فمن الجائز - من حين لآخر - بحكم ظاهرة النفق الكمومى أن يتفرع (ينجب) كونا وليدا متواريا داخل الثقب الأسود. ويجوز أن ينمو هذا الفرع إلى حجم ضخم دونما تداخل مع حيز المختبر (الذى يمثل جذع الشجرة).

لقد تمشى إدوارد ر.هاريسون من جامعة ماساتشوسيتس مع هذا التصور إلى مدى أبعد، فطرح أن كوننا المحدد الذى خصصناه بالذكر يمكن أن يكون قد خلق ككون وليد فى رحم مختبر ينتمى إلى حضارة ذكية سالفة. وذكر هاريسون أن هذا ربما يشرح لماذا تفضى الثوابت الفيزيائية فى كوننا إلى حياة ذكية، فهى ببساطة تشبه تلك الثوابت فى (الكون الأب) الذى احتضن المدنية الذكية التى خلقت كوننا. واقترح أن كل الأكوان الوليدة - ومن خلال أجيال عديدة - ربما تكون قد تكونت بنفس الطريقة، ولكنه كان لا يزال فى حاجة إلى تفسير مختلف وطبيعى يبرر وجود

الكون الأصلى (الجذع). وبوسع حضارة ذكية أن تنتج الجذع بالمثل عن طريق عروة سفر عبر الزمن.

بطبيعة الحال قد يبالغ ذلك فى تقدير أهمية المدنيات الذكية. ربما كان التشكل الطبيعى للأكوان الوليدة كما فى نموذج ليندى للانتفاخ الفوضوى - أكثر اعتيادية من خلقها عن طريق مدنيات ذكية. اقترح الفيزيائى "لى سمولين" من جامعة بنسلفانيا الحكومية أنه فى كل مرة يتكون فيها ثقب أسود، ينشأ كون وليد، نابع من نفس كوننا، ولكنه متوار عن رؤيتنا داخل الثقب الأسود. إذا كان لكوننا اليوم ثابت كونى ضئيل، قد بين "جاريجا" "وفيلنكين" أن فقاعات ذات فراغ عالى الكثافة ستتكون فى النهاية. (تخيل كرة بولنج على سهل ساحلى تقفز فجأة - بحكم قوانين الكم - إلى داخل واد بالجبل). ستتفرع كل هذه الفقاعات لتخلق كل منها كونا انتفاخيا مستقلا. وتمثل هذه العملية وجها آخر لنموذج الانتفاخ الفوضوى لليندى الذى تسبب فيه الاختلالات الكمومية العشوائية تكون مناطق تتضخم، وتتفرع منها فروع جديدة. ويصح أن يدمج هذا النموذج فى مخططنا.

وفكرتنا عن إمكانية خلق الكون لنفسه تتوافق تمام التوافق مع نظرية الأوتار الفائقة **Superstring Theory** التى تطرح أنه - مبكرا - كانت كل الأبعاد المكانية معقوصة **Curled** لأعلى وصغيرة. وفى نموذجنا للعروة الزمنية، فإن كل الأبعاد - بما فيها الزمن - ملفوفة بإحكام ودقيقة. تتشابك فكرتنا أيضا بصورة جيدة مع فكرة الانتفاخ. فلكى ينشئ نفسه عن طريق السفر عبر الزمن يجب أن يشبه الكون - فى مرحلة متأخرة من الزمان - نفسه فى مرحلة أكثر تبكيرا. وتسمح فكرة الانتفاخ بهذا. إذا بدأت بمجرد جزء ضئيل من الفراغ الانتفاخى، فإنه سيتمدد إلى حجم جبار تشبه بعض أجزاء منه، الجزء الذى بدأت به. لو أن أحد هذه الأجزاء كان هو الجزء الذى بدأت به، فإن الكون هو حقا أم نفسه. لقد حصل أمر مشهود فى بداية الكون، ترى هل كان هو ذلك؟

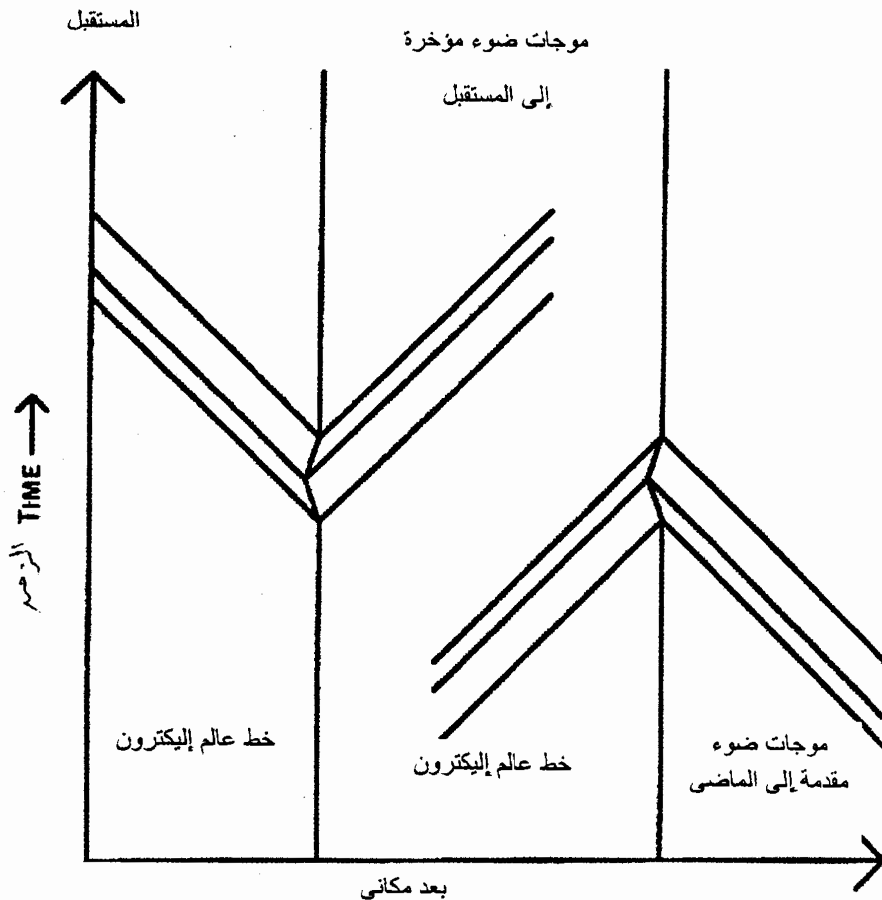
سهم الزمن[1]

يقدم نموذجنا حلا لتناقض فريد طالما استرعى اهتمام العلماء: سهم الزمن. مقايضة الماضى بالمستقبل (١٩) ، اليسار باليمين، الجسيمات بالجسيمات المضادة، وستبقى قوانين الفيزياء صالحة للعمل كسابق العهد بها. ليس هناك أى شىء سحرى فى مواجهة المستقبل بالماضى. ولنضرب مثلا: إن قوانين الكهرومغناطيسية لا تميز بين المستقبل والماضى، ولكننا نعلم أن موجات الضوء التى تخضع لقوانين الكهرومغناطيسية تتحرك فقط صوب المستقبل. إذا هززنا إلكترونا الآن، ستنبثق منه موجات ضوئية بسرعة الضوء، وتصل - بعد ٤ سنوات من الآن - إلى نجم ألفا قنطورس الذى يبعد عنا بأربع سنوات ضوئية. يطلق على الموجات المتوجهة صوب المستقبل موجات مؤخرة . **Retarded waves** انظر شكل ٢٨، فإلى اليسار خط عالم لإلكترون متجه مباشرة إلى أعلى، فيما عدا ثنية فى خط عالم الإلكترون عند اهتزازه. تنبعث موجات الضوء المؤخرة إلى أعلى من هذه النقطة متخذة هيئة حرف **V** إلى اليسار واليمين بزاوية ٤٥ درجة بسرعة الضوء صوب المستقبل. على أننا لا نرى مطلقا أشعة الضوء المتجهة صوب الماضى بالرغم من أن معادلات ماكسويل للكهرومغناطيسية تقتضى إتاحة هذا الحل البديل على قدم المساواة، والذى من المفترض فيه أن تتجه موجات الضوء - عند اهتزاز الإلكترون الآن- إلى الوراء صوب الماضى متقاطعة مع خط ألفا قنطورس منذ أربع سنوات. نطلق على الموجات المتجهة إلى الماضى الموجات المقدّمة **Advanced Waves**، مثل تلك المنبعثة من إلكترون مهتز ، إلى اليمين من شكل ٢٨، والتِى تنتج شكلا كرقم ٨ فى الرسم البيانى للزمكان. على أننا طالما لا نشاهد مطلقا الموجات المقدمة، فلابد وأن شيئًا ما قد أعاقها. إن حقيقة رؤيتنا موجات الضوء المنتقلة صوب المستقبل فقط من الشحنات المهتزة تشرح السببية

---

(١) تعبير صاغه الفيزيائى البريطانى آرثر أدنجتون ليميز اتجاه الزمن وعدم قابليته للانعكاس، ويشير سهم الوقت فى الكونيات إلى تمدد الكون. (المترجم).

الطبيعية التى نلاحظها فى كوننا اليوم، حيث تسبق العلة (السبب) المعلول (النتيجة). فأنا أهز إلكترونا الآن، فتحدث فيما بعد الظواهر الكهرومغناطيسية، منتجة سهما من الزمن Arrow of Time .



شكل رقم (٢٨) سهم الزمن.

وينطبق نفس الأمر على الجاذبية فموجات الجاذبية تتماوج فى الزمكان متحركة بسرعة الضوء وتتقدم نحو المستقبل. وقد رصد نوبيل لوريتيس راسل هالس ، وجوزليف تيلور من برينستون نجمين نيوترونيين [1] يدوران حول بعضهما ويتحركان ببطء حركة حلزونية إلى الداخل بحيث يستمران فى الدنو من بعضهما البعض، وهو تماما ما نتوقع إذا ما كانا يشعان موجات جذبوية نحو المستقبل. لو أشعا مقدارا مساويا من الموجات الجذبوية ناحية الماضى، لكان الموقف متناظرا زمنيا، ولما تحرك النجمان حلزونيا نحو الداخل إطلاقا. و لو أشعا الموجات الجذبوية صوب الماضى فقط، فسيبدو هذا كعرض سينمائى لما نراه فى الحقيقة، ولكن عرضه يجرى معكوسا: سنرى موجات مقدمة تتجمع على مجموعة النجمين الثنائيين (متخذة شكل رقم ٨)، مكسبة إياهما طاقة وجاعلة إياهما يتحركان حلزونيا نحو الخارج. غير أنهما يتحركان حلزونيا إلى الداخل وهو ما يعنى أن كلا من الموجات الجذبوية وكذلك موجات الضوء تتحرك جميعا صوب المستقبل وهو الأمر الذى يثير الحيرة.

فى عام ١٩٤٥ خرج جون هويلر وريتشارد فيينمان بفكرة، إذ اعتقدا أن الموجات الكهرومغناطيسية المنبعثة من إلكترون مهتز تتحرك فى اتجاهين: نصفها إلى الماضى ونصفها إلى المستقبل. فالأشعة المتجهة للمستقبل ستصيب الشحنات فى المستقبل متسببة فى اهتزازها فى النهاية. وهذه الشحنات بدورها سوف تطلق موجات إلى الماضى وإلى المستقبل. والموجات التى ترسلها شحنات المستقبل هذه إلى الماضى، ترتد فى شكل تموجات إلى الإلكترون فى الحاضر، مضاعفة من شدة الموجات المؤخرة المنبثقة من الإلكترون الحالى ، بحيث تصل بها إلى كامل شدتها. والموجات من هذه

(١) النجم النيترونى: نجم عملاق ينفد وقوده النووى فينهار ويتفجر، ولفترة وجيزة يفوق لمعانه لمعان مجرات بأكملها، وتتكاثف مادته بحيث يزن ملء ملعقة منها ١٠٠ بليون طن! - تم حتى الآن التعرف إلى زهاء ٢٠٠٠ نجم نيوترونى سواء داخل مجرتنا أو فيما حولها. ورغم التعمق فى التحرى عن خواصها فإن النجوم النيترونية تحير الفيزيائيين الفلكيين حتى الآن وتستعصى على فهمهم (المترجم)..

الشحنات فى المستقبل تستمر عندئذ إلى الماضى، إن قمم هذه الموجات وقيعانها تلاشى بالضبط الموجات المقدمة التى كان الإلكترون قد بعث بها إلى الماضى، فلا تتبقى أية موجات من الحاضر إلى الماضى، وهو الذى سينتج ما نشاهده. ولكن لماذا لا يحدث العكس، وتحرك الموجات المقدمة الشحنات فى الماضى بحيث ترتد الموجات المؤخرة لجسيمات الماضى هذه لتلغى الموجات المؤخرة مخلفة فقط الموجات المقدمة؟ إن عدم التماثل الزمنى الذى نرصده ينبغى استخلاصه فى النهاية من وجود حالة فائقة من النظام (أى ذات انتروبيا منخفضة) دونما موجات فى الماضى، فى الكون المبكر.

ولكن .. هل هناك بدائل ؟

يمدنا الشكل الهندسى لنموذج السفر عبر الزمن بشرح طبيعى لعدم التماثل بين المستقبل والماضى الذى نرقبه فى كوننا. افترض أننا نعيش فى الكون الذى يمثله أقصى (بوق) إلى اليمين فى شكل٢٧ إذا سمحنا لموجات الضوء أن تذهب إلى الماضى، فإنها ستأخذ طريقها هابطة من ذلك الفرع إلى الفرع الذى إلى يساره وفى النهاية إلى الجذع حيث ستدخل الموجات فى العروة الزمنية بالقاع وتدور فيها فى عكس اتجاه عقارب الساعة عددا لا نهائيا من المرات، مفضية إلى تنام لا نهائى للطاقة متسببة فى انفجار المنظومة برمتها وتكون مفردة. وليست هذه هى البنية الهندسية التى بدأنا بها، والحل متوافق ومترابط. إن الطريقة الوحيدة كى ينجح نموذج مترابط ذاتيا هو أن تتجه موجات الضوء دائما نحو المستقبل تماما كما نشاهد. (لو تحركت الفوتونات المتولدة فى الفروع فقط صوب المستقبل، فإن هذه الفوتونات سترحل بعيدا عن الفرع وعن العروة الزمنية بدون مشاكل).

فلنفترض الآن أن فوتونا انبعث من داخل العروة الزمنية بالقاع. بوسعه – من ناحية المبدأ – أن يدور حول العروة فى اتجاه عقارب الساعة عددا لا نهائيا من المرات.

ولكن فى كل مرة يدورها سيفقد قدرا من الطاقة لأنه متحرك نحو المستقبل، فى ذات الاتجاه الذى يتمدد فيه الفرع. وفى كل مرة يدورها سوف يضيف فقط واحدا على ٥٣٥ من الطاقة التى أضافها فى المرة السابقة، نظرا لأن التمدد يبسط الطول الموجى بمعامل قدره ٥٣٥، سالبا منه طاقته. ويتراكم المجموع بسرعة إلى قيمة محددة. وهكذا، على الرغم من دورانه عددا لا نهاية له من المرات، فإنه لن يتسبب فى تراكم لا نهائى للطاقة. وعلى كل حال فإن فوتونا عائدا أدراجه فى الماضى وهو يدور فى عكس اتجاه عقارب الساعة حول العروة، سيلتقط طاقة فى كل دورة له؛ لأنه فى اتجاه عكس عقارب الساعة، يغدو الفرع أصغر، مقلصًا من الطول الموجى. إن الفوتون الذى يدور عددا لا نهائيا من المرات صوب الماضى سيتسبب فى تنام لا متناه من الطاقة، ومن ثم فى انفجار النموذج. وفى الحقيقة فالطريقة الوحيدة للحصول على حل مترابط ذاتيا هو أن تتحرك موجات الضوء والموجات الجذبوية فقط صوب المستقبل فى كامل حيز النموذج برمته. وهكذا ففى نموذجنا يأتى عدم التماثل بين المستقبل والماضى الذى نرصده (والذى يسبق فيه السبب النتيجة)، من عدم التماثل فى البنية الهندسية للكون، فإن هناك عروة زمنية عند البداية.

لم يكن هذا السهم الزمنى شيئا بنيناه نحن فى النموذج، ولكنه كان - ضمنيا - موجودا فيه. على أن ظهوره أدهشنا. كان تنبؤا مهما عن طريق نموذجنا ثبت اتفاقه مع أرصادنا.

وعلى النقيض، لا يوجد شىء ينتج سهما زمنيا فى نموذج الانفجار العظيم النمطى. فى هذا النموذج يمتلئ الكون فى مرحلته المبكرة بالإشعاع، ولا يهم ما إذا كان سيمضى إلى الأمام أو إلى الخلف فى الزمن. ستزيد الموجات المتجهة صوب الماضى من الطاقة عندما تقترب من مفردة الانفجار العظيم، حيث تنفجر هذه الموجات. على أن الكثافة فى نموذج الانفجار العظيم تتعاظم هناك فى أى مكان، وعلى ذلك فإنها لا تسبب أية مشكلة. وما من شىء يمنع الأمواج المتجهة صوب الماضى - من ناحية المبدأ - فى نموذج الانفجار العظيم النمطى، ولكن مع وجود عروة

زمنية فى البداية يمنع الترابط الذاتى الموجات المتجهة إلى الماضى تماما كما يرصد ذلك فى الوقت الراهن.

ولكن .. ماذا عن "سهم إنتروبيا الوقت" أى الزيادة فى الفوضى التى نرصدها - عبر الزمن - فى الكون؟ إنها تحدث لوجود العديد من حالات الفوضى (التشويش)، مقابل القليل من حالات التناسق. وإليكم مثالا واقعيا لهذا المبدأ. ضع ١٠٠ قطعة عملة معدنية بعناية داخل صندوق أحذية بحيث تكون كل أوجهها ذات التصميم الرئيسى إلى أعلى (مما يعنى حالة عالية من التناسق، فنحن بذلنا طاقة لتحديد وضع كل قطعة). هز الصندوق ثم انظر فيه. ستجد على الأرجح بعضا من القطع وقد ظهر وجهها العلوى وأخرى ظهر ظهرها، إنها حالة فوضى عشوائية. هناك العديد من الطرق التى يترتب بها وجها القطع (فى كل مرة تختلف القطع التى تحتفظ بترتيبها الأصلى) ولكن هناك طريقة واحدة لكى تنتظم القطع كلها وتكون أوجهها الرئيسية إلى أعلى. هناك دائما فرصة ضئيلة أن تجد المائة قطعة كلها - بعد أن تهز الصندوق - وكل أوجهها الرئيسية المائة إلى أعلى. وهو احتمال يساوى الواحد مقسوما على ٢ ^١٠٠^ (اثنين مرفوعة للأس ١٠٠). هز الصندوق بمعدل مرة كل ثانية. ستحتاج إلى ٤٠ بليون تريليون عام لكى يتصادف أن تحصل على ترتيب تكون فيه كل المائة وجه الرئيسية إلى أعلى.

وبكيفية مماثلة فإن احتمال الالتقاء عشوائيا بمكعب من الثلج فوق موقد ساخن بدلا من الماء أو البخار هو احتمال يبلغ من الضآلة حدا يجعلنا - عادة - لا نتوقع تواجده بمحض الصدفة. إذا شاهدنا مكعبا ثلجيا على موقد، فإنما ذلك - تقليديا - لأن أحدا قد وضعه هناك، ثم إذا نظرنا بعد خمس دقائق سنجد نصفه قد انصهر (حالة ذات درجة فوضى أو تشوش أعلى). واعتماداً على مسألة قدمها هويلر وفينمان فى بحثهما عام ١٩٤٥، فلنر ماذا عساه يحدث لو لم يكن أحد قد وضع مكعب الثلج هناك ولكنه وجد هناك كمجرد احتمال شبه مستحيل لبعض الاختلالات الإحصائية مثل أن تجد عشوائيا كل العملات وكل أوجهها الرئيسية إلى أعلى. إذا

نظرنا بعد ٥ دقائق فنحن نتوقع أن نجد المكعب وقد انصهر نصفه. ولكن افترض أنك نظرت قبلها بخمس دقائق، سنتوقع أيضا أن نجد المكعب نصف منصهر، لأن عثورنا على مكعب ثلج أكبر فى وقت أكثر تبكيرا سيكون أبعد احتمالا من عثورنا على المكعب الأول.

وهكذا، فإن قوانين الفيزياء لا تنشئ سهما زمنيا تأسيسا على الإنتروبيا، ولكنها ببساطة تقول إن الإنتروبيا تزيد طالما تحرك الشخص مبتعدا عن حالة النسق (سواء إلى المستقبل أو إلى الماضى). وعلى كل حال، إذا وجد الكون نفسه فى حالة من التناسق إلى درجة غير معقولة؛ وذلك فى أول بدايته فيجب أن نتوقع أن نجده أكثر وأكثر تشوشا وفوضى كلما تقدم الزمن[٢٠].

فى نموذجنا ذى العروة الزمنية بمقدورنا أن نحسب درجة الحرارة عند أية نقطة. سنجد الحيز بأكمله داخل العروة الزمنية باردا - فى درجة الصفر المطلق - وهى حالة عالية التنسيق منخفضة الانتروبيا، وتمتلئ العروة الزمنية بحالة فراغ انتفاخى صرف عند درجة الصفر. لن نجد ثمة أية جسيمات أو إشعاع. من ناحية أخرى، بعد عبور "أفق كوشى" وعلى الفروع بعد العروة الزمنية سنجد الكون حارا (سيكون من شأن الراصد فى منطقة ما بعد العروة الزمنية أن يغوص فى حمام ساخن من "إشعاع هوكنج"[١] طالما كانت هناك آفاق حدث فى المكان. وتنشأ آفاق الحدث؛ لأن طبيعة الفضاء وهو ينتفخ بسرعة تضمن عدم وصول الضوء القادم من الأحداث سحيقة البعد مطلقا إلى الراصد. والانتقال من البرودة إلى السخونة يمثل زيادة فى التشوش. وعليه فهناك "سهم زمن إنتروبى" (أى زيادة فى التشوش فى الأزمنة التالية) فى نموذجنا يوازى سهم الزمن الكهرومغناطيسى. ولأن الكون يبدأ

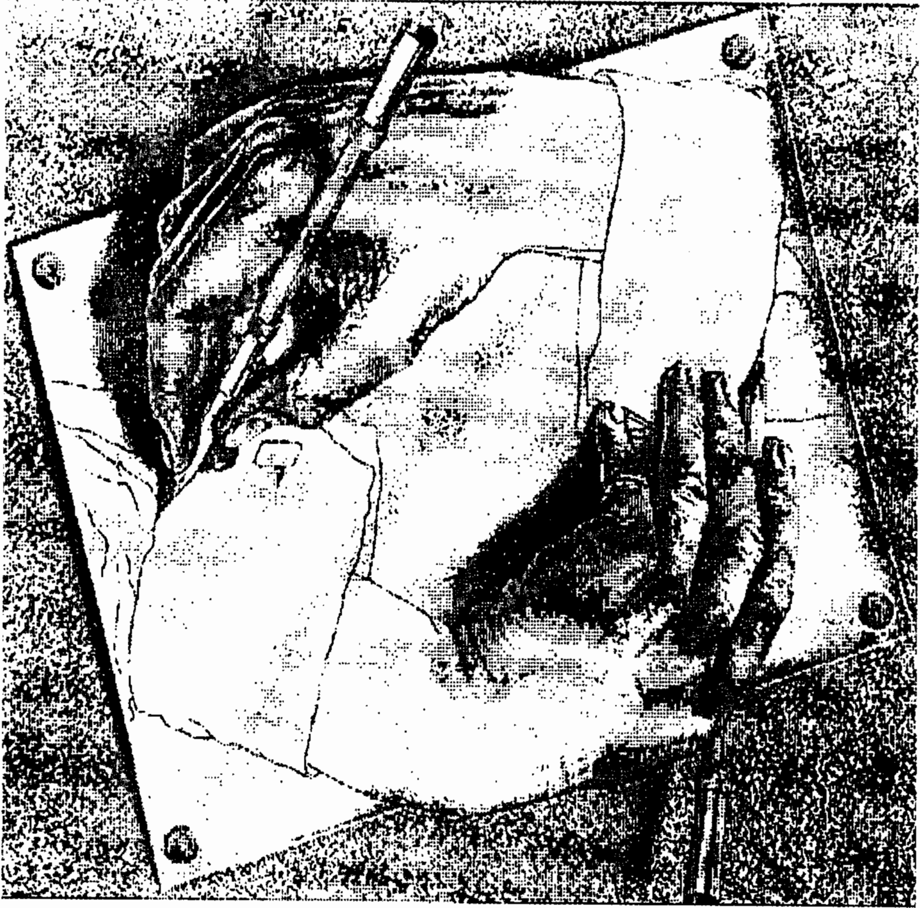
(١) إشعاع هوكنج: هو إشعاع حرارى يعتقد أن الثقوب السوداء تشعه نتيجة للتأثيرات الكمومية سمى باسم الفيزيائى البريطانى هوكنج الذى أثبت وجوده نظريًا عام ١٩٧٤ ، غير أنه مازال مثيراً للجدل. (المترجم).

فى النشوء تلقائيا وذاتيا فى حالة من الإنتروبيا المتدنية فى عروتنا الزمنية، فسينتشر التشوش بطريقة طبيعية من هناك، وهو ما يشرح لماذا يزداد التشوش اليوم مع الوقت.

ومن هنا فإن نموذجنا يقدم فكرة جديدة وواعدة عن كيفية نشأة الكون، فكرة تفيد من خاصية فريدة فى النسبية العامة لمواجهة التساؤل عن "العلة الأولى" بأسلوب مستحدث. وفى الحقيقة يبدو السفر عبر الزمن ملائما بصورة تامة لحل هذه المشكلة.

ربما تساءل شخص عن "المضامين اللاهوتية" فى نموذجنا. لم نتناقش لى تشين لى وأنا فى المسائل اللاهوتية على الإطلاق، ولم يكن لدينا أبدا محاور لاهوتية.

لقد أردنا - ببساطة - أن نرى ما إذا كان بوسعنا الاستفادة من خاصية مدهشة فى النسبية فى شرح أصل الكون، وهى مهمة أولى بها الفيزيائيون. وأرانى أمانع كثيرا فى أن أتوصل إلى نتائج لاهوتية عن طريق نموذجنا، فالنتائج تتحدث عن نفسها. إن اللاهوتى الاحترافى قد يشير إلى شغفه بفكرة خلق الكون لذاته، ولكنها مازالت لا تجيب على السؤال: لماذا كان هناك كون خالق لذاته بدلا من عدم وجوده على الإطلاق. إن ما يصنعه الناس بنموذجنا عن الكون المنشئ لذاته يعتمد ربما على وجهة نظرهم التى يبدءون منها. ربما جذبت فكرة الكون المنشئ لذاته الملحدين والقائلين بوحدة الوجود. وكشخص متدين لن أتظاهر بأن مفهوم الكون الخالق لذاته لا يسبب لى ضيقا ولكن ربما ينبغى أن يسبب لنا الكون مثل هذا الضيق. وكتأمل تصورى لهذه الفكرة تأمل رسم إشر (شكل ٢٩).



شكل رقم (٢٩)

الأيدى الراسمة لذاتها (١٩٤٨) للرسام م.ك. إشر.

الباب الخامس

تقرير من المستقبل

"ليس الأمل فى أن تؤمن إيمانا راسخا أن شيئا ما سينتهى على ما يرام، ولكن فى أن تتأكد من أن شيئا ما سينتهى وإلى معنى ما، بصرف النظر كيف سينتهى".

فيتشسلاف ف. هافل (قلقلة السلام)

Disturbing The Peace

أسئلة للمسافر عبر الزمان عن المستقبل

ليس لكتاب عن السفر عبر الزمن أن يعتبر تاما، دون تقرير من المستقبل. لو ظهر – على حين غرة – مسافر عبر الفضاء أتى من المستقبل، فعم عساك ستسأله؟ لعله يطيب لك أن تعرف ما الذى ستؤول إليه – فى المستقبل – علاقاتك الراهنة، أو إلى أى مدى ستزدهر أعمال الشركة التى تنتمى لها، أو إلى متى سيكتب للبلد الذى تعيش فيه البقاء. ولعل أهم ما ستسأل عنه، إلام تؤول – فى خاتمة المطاف – سلالة البشر! لقد كانت هذه النوعية من المعلومات بالضبط هى التى جلبها المسافر عبر الزمن إلى أصدقائه فى رواية هـ.ج. ويلز.

هل يقدر لتحذير يأتى لنا من المستقبل، أن يستنقذنا من مصير شنيع ينتظرنا! ربما حدث ذلك - وفقا لتصور "دافيد دويتس" عن العوالم المتعددة فى ميكانيكا الكم الذى سبق أن وصفناه فى الباب الأول، فهناك العديد من الاحتمالات للمستقبل وفقا لذلك المنظور، وقد يأتى المسافر عبر الزمن - بكل بساطة من أى من هذه العوالم المتعددة. لو اشتملت معظم هذه الأكوان المستقبلية على بعض الكوارث، فسيخبر عنها - بالقطع - معظم المسافرين الوافدين - عبر الزمن - من المستقبل. (سيخبر المسافر عبر الزمن فقط عن الأمور التى يحتمل وقوعها). فلو أنك حملت التحذير على محمل الجد فربما أمكنك أن تتحاشى الكارثة، بالانتقال إلى كون مستقبلى آخر لا تحدث فيه. وبعبارة أخرى ، إذا كان "ثورن" و"نوفيكوف" على صواب، فإن المسافر عبر الزمن سيخبر عن أحداث ستقع حتما فى مستقبل العالم. إن أى تحذير قد يحمله لنا المسافر عبر الزمن ليس له أن يبدل مجرى الأحداث - بحكم التعريف - وكما ذكرنى براندون كارتر **Brandon Carter** مؤخرا ، فإن ذلك يشبه الميثاق الذى أعطيته كاساندرا فى الأساطير الإغريقية القديمة، لقد وهبت القدرة على التنبؤ - بكل دقة - بالمستقبل ، ولكن ارتبطت هذه القدرة بلعنة أزلية تمثلت فى عدم تصديق الناس لنبوءاتها(١) ترى هل تتيسر لنا نبوءة علمية دقيقة عن المستقبل! ربما أمكن ذلك لو أحسنا اختيار السؤال الذى نطرحه.

التنبؤ العلمى بالمستقبل

طالما وظف العلم فى غرض التنبؤ بالمستقبل، إذ تسنى للفلكيين المصريين القدماء أن يتنبؤوا بموسم فيضان النيل بمراقبة موعد بزوغ نجم الشعرى اليمانية، ورصد

---

(١) كاساندرا هى ابنة بريام وأخت باريس أمير طروادة فى ملحمة هوميروس الشهيرة الإلياذة، وقد قدرت عليها هذه اللعنة لإسخاطها الإله أبوللو، وكان من ضمن نبوءاتها التى كذبها الناس دمار طروادة على يد الإغريق بعد حصارها المعروف. (المترجم).

الفلكيون ظواهر يتكرر حدوثها بصفة دورية فى السماء وتنبؤوا باستمرار هذه الظواهر مستقبلا، وتحققت صحة تلك التنبؤات، وبمزيد من المراقبات والرصد والحسابات المعقدة يمكن للفلكيين التنبؤ بموعد كسوف الشمس المقبل. وقد ذاعت شهرة الفلكى والرياضى الإغريقى طاليس **Thales** بتكهنه الصحيح بكسوف الشمس فى الثامن والعشرين من مايو عام ٥٨٥ قبل الميلاد.

وبتطبيق نظرية نيوتن عن الجاذبية، يمكن للمرء أن يتنبأ بالحركة المستقبلية للأجرام الفلكية والمواضع التى ستنتقل إليها وسرعة انتقالها. لقد استعمل إدموند هالى **Edmund Halley** نظرية نيوتن لكى يقرر أن موعد القدوم التالى للمذنب الذى رصده سنة ١٦٨٢ سيكون فى تخوم عام ١٧٥٨ (مات هالى قبل ذلك التاريخ فى سنة ١٧٤٢ فى سن الخامسة والثمانين) وعندما ظهر المذنب فعلا فى الموعد الذى تنبأ به سمى باسمه.

لقد شكلت نظرية نيوتن للجاذبية الأساس لآلاف التنبؤات الناجحة ، بيد أنها لم تنجح فى تفسير التقدم فى مسار عطارد[١] ، وانحناء الضوء حول الشمس، وهو ما أدى إلى أن تخلفها نظرية أينشتاين ذات الدقة الأعلى عن الجاذبية. إنما ينجح المنهج العلمي؛ لأنه لا يتملكه الذعر إذا ما استغنى عن نظرية عظيمة كنظرية نيوتن حين تؤدى إلى تنبؤات غير دقيقة.

وبتقدم العلم، زادت دقته فى التنبؤ بأحداث المستقبل ، فعندما اكتشف مذنب شوميكر- ليفى[٢] **Shoemaker Levy** فى مارس ١٩٩٣ استعمل الفلكيون موقعه وسرعته ليتنبؤوا وكان تنبؤهم صحيحا - بأنه سيرتطم بالمشترى بعد أكثر قليلا من

---

(١) يرجى الرجوع للباب الثالث. (المترجم).

(٢) مذنب شوميكر - ليفى (أو الإسكافى - ليفى): اكتشف فى ٢٤ مارس سنة ١٩٩٣ واصطدم بكوكب المشترى ما بين ١٦، ٢٢ يوليو من عام ١٩٩٤ بسرعة ٦٠ كم/ث وفقا لتنبؤ العلماء الصحيح. (المترجم).

العـام. مكن ذلك الفلكيين من أن يتـأهبـوا لرصـد الأحـداث من خـلال تلسكوباتـهم الأرضيـة المبثوثة فى أرجاء العالم ، وتلسكوب هابل الفضائى. وبالمثل مكن علم فيزياء الهيـدروديناميكيـات أو ديناميكيات المياه علمـاء الأرصاد الجـوية من التنبـؤ الدقـيق بأحـوال الطقس لعـدة أيام مـقدمـا، وإعطاء الإنذارات المبكرة بالأعـاصيـر والعـواصف الثلجية العنيفـة، وبالتالى إنقاذ الكثير من الأرواح. لقد قامت كل هذه التنبـؤات على طرق علمية سبق اختبارها بنجاح بما كفل توطد أركانها.

فى زمن نيوتن وما بعده، أمل العلماء حقا أن تتطور قدرتهم على التنبؤ بالمستقبل دون أن يحدها حد، فطبقا لنظرية نيوتن، إذا عرف الإنسان كتلة كل جسيم فى الكون وموضعه وسرعته فإن بمقدوره أن يحسب مواضع أى جسيم فى المستقبل كيفما أراد. فمجرد استطاعة المرء أن يحصل على معرفة دقيقة بالحاضر يمكنه بالمثل من التكهن بالمستقبل. تلك كانت رؤيتنا للكون ... نفس رؤيتنا للساعة المنضبطة. إلا أن مبدأ عدم اليـقين فى مـيكانيكا الكم لهـايزنبـرج يفـيـد بأنه لا يمكننا فى آن واحـد قـيـاس مـوضـع جسيم مـا وسرعته بدقة قاطعة، لا يمكننا تحقيق حلم نيوتن بمعرفة الموضـع والسرعة لكل جسـيم بالكون بالضبط فى الحـقبـة الراهنة، وعلى ذلك فـالتنبـؤ بمسـتـقبل هذه الجسـيـمـات على نحـو مـفـصل وكـامل هو أمـر مـحكوم عليـه – من ناحـيـة المبـدأ – بالاستحالة.

إلا أن الأدهى من ذلك أن نظرية التـشـوش تـخـبـرنا أن الكثـيـر من المنظومـات الديناميكية غير مستقرة لدرجة الفوضـى ، وهو ما يعنـى أن قدرا يسـيـرا من اللايقين فى مواضع الجسيمات وسرعاتها من شأنه أن يتفاقم فى المستقبل .. ويتراكم أكثر فـأكثر حتـى نصل إلى حالة لا تعود معها تنبؤاتنا مشـابهة للمجرى الفعلى للأحداث أدنى مشـابهـة. فلن يمكننا أن نتكهن بمدارات الكويكبات القريبة من الأرض بدقة إلا لفترة مائة سنة فقط، وبعدها يحل التشوش وتصبح حلولنا غير ذات معنى. والعديد من المنظومات المهمة بطبيعتها فوضوية. فالتنبؤ بالطقس يتسم بالعشوائية وعدم الاستقرار إذا زادت الفترة عن عدة أيام. ويمكن تمثيل ذلك بصورة مصغرة بالمقولة

الشهيرة "إن فراشة ترفرف بأجنحتها فى حوض الأمازون يمكن أن تغير مسار إعصار بعد عدة أشهر فى منطقة البحر الكاريبى". وتتراكم التحولات الضئيلة حتى تغدو كبيرة، متضاعفة الفينة بعد الفينة. فحساب الطقس لعدة أشهر مقدما يستدعى ما يستحيل التخطيط له تأسيسا على الصورة الراهنة للطقس، بل ويستدعى القدرة على التنبؤ بحراك كل حيوان على سطح الأرض. لذا، فلدينا على أفضل الظروف أفق محدود للقيام بتنبؤات طقس تفصيلية.

وبالمثل، يسود التشوش التطور البيولوجى. عد أدراجك إلى الماضى، واقتل "تريلوبايتا"[1] إضافيا واحدا (علاوة على ما انقرض منها منذ ٥٠٠ مليون عام)، فربما نجم عن ذلك وقف التطور الذى أدى إلى نشوء الإنسان، إذ ربما نحا التطور ببساطة منحى آخر. وهل كان فى مقدور أحد - منذ خمسمائة مليون سنة - أن يتكهن بما ستكون عليه هيئة التايرانوسيرس[2] أو الهيكل الفيزيائى لجنس البشر؟ لقد ناقش ستيفن جاى جولد **Stephen Jay Gould** من هارفارد هذه المسألة ببلاغة فى كتابه "حياة رائعة **Wonderful Life**". إذا أعدت لف شريط تسجيل التاريخ وكررت إذاعته، فقد ترى وتسمع تفاصيل مختلفة تماما.

فى العديد من الأمور التى تشغل بالنا أكثر من غيرها، ومن ضمنها مآل الجنس البشرى، تبدو قدرتنا على التنبؤ التفصيلى على الطراز النيوتونى عديمة الجدوى، وقد حدا هذا بالكثير من الناس للقول بالاستحالة المطلقة للتنبؤ بالمستقبل، وليس لهذا التشاؤم ما يبرره. (ماذا بوسعنا أن نقول عن المستقبل، ما لم يصلنا منه مسافر عبر

---

(١) كائن مفصلى كان أول الحيوانات القشرية التى ظهرت منذ ٥٠٠ مليون سنة. ومعنى التريلوبايت (ذات الثلاثة فصوص) إذ كان جسمها مغطى بغطاء صلب مقسم طوليا إلى ثلاثة فصوص، وكانت تعيش فى الماء قليل الغور بالقرب من الشاطئ سادت البريلوبايت البحار حقبة مائة مليون سنة حتى انقرضت. (المترجم).

(٢) التايرانوسيرس أو التايرانوصور: ديناصور ضخم لاحم (من أكلة اللحوم) من العصر الطباشيرى، ذو رأس كبير وقدمين ثقيلتين و أطراف أمامية صغيرة. (المترجم).

الزمان ليخبرنا؟). إلا أن ميكانيكا الكم تخبرنا – من حيث المبدأ – أن كل تنبؤاتنا عن المستقبل لابد وأن تكون فى إطار النتائج المحتملة لأرصادنا المستقبلية. بيد أن تقدير الاحتمالات يمكن بالفعل أن يكون مفيدا إلى أقصى حد، فيخبرنا بكل ما نتوق إلى معرفته. إننا نعرف أن مستقبل الكون من الأمور التى لا يمكن حساب تفصيلاتها، ولكن هذا لا يعنى أننا عاجزون عن إجراء تنبؤات به. فمثلا، بوسعى أن أتنبأ بأن السماء ستمطر ثلجا فى وقت ما من العام القادم فى مدينة نيويورك، وأنا جد واثق من صحة ذلك. ولكن هذا نوع مختلف من التنبؤ ، فهو تنبؤ قائم على الإحصاءات لا يقتضينى أن أتقصى كل أحوال الطقس تفصيلا (ولا تعطله تلك الفراشة التى ترفرف فى حوض الأمازون).

وطالما نوشد العلماء التنبؤ بالمستقبل ، لا عن طريق تطبيق فرضية علمية خاصة مثلما فعل هالى فى تطبيقه لنظرية نيوتن، ولكن ببساطة؛ لأنهم خبراء ضليعون فى العلم وفى نواميس الفيزياء، ومن ثم فإنهم قادرون على التنبؤ بالمستقبل، ويشمل ذلك غالبا أن نعرف أنه ما لم يخرق أمر ما القوانين الفيزيائية، فلنا أن نتنبأ بأن تقنيتنا ستتقدم لتسمح لنا بإتيان هذا الأمر مستقبلاً.

فى تسعينيات القرن التاسع عشر عندما تنبأ الفيزيائى الروسى كونستانتين تسيولكوفسكى **Konstantin Tsiolkovsky** بأن الناس سيحلقون يومًا ما فى الفضاء فى صواريخ كانت نبوءته من هذه الفئة من التنبؤات. وعلى نفس المنوال صح تنبؤ جول فيرن عن أول غواصة ذرية، كما تنبأ فيرن أيضا بأن الإنسان سيغوص عميقا فى الأرض ليجد ديناصورات تحيا هناك – وهو ما لم يتحقق بعد – وفى حين أن مثل هذه التكهنات قد تثبت من وقت إلى آخر صحتها على نحو مذهل، إلا أن ذلك نادرا ما يقع. حدث فى عام ١٩٧٤ أن تنبأ جيرارد أونيل من برينستون بأن عدد البشر الذين سيحيون فى الفضاء بحلول عام١٩٩٦ سيكون فى حدود ما بين ١٠٠٠٠٠، ٢٠٠٠٠٠، بل إنه حتى اقترح كيف يمكن تحقيق هذا الإنجاز الفريد، ببناء مستعمرات فضائية هائلة. كانت فكرة عظيمة ولكنها لم توضع موضع التنفيذ.

إن الصعوبة فى هذه التنبؤات تكمن فى أنها تخمين ينبغى أن يقوم على أساس خبرة ومعرفة واقعية ، ولقد بين التاريخ أنها قد تجانب الصواب بمراحل كما أنها تمثل تفاؤلا أكثر من المعتاد وبالذات فيما يختص بتقدير المخاطر التى قد تعرض لنا. لقد كان من المفترض أن تكون محطات القوى النووية من الأمان بحيث يكون احتمال حدوث حادث بها مقاربا لاحتمال تعرض المرء للصعق بصاعقة برقية ، ثم أثبتت حادثتا "ثرى مايلز آيلاند" و"تشيرنوبل" خطأ هذا التوقع. ربما كان السبب فى الفشل فى النهاية راجعًا لأمر يبعث على الدهشة، أمر لم يكن باديا فى أثناء الحسابات، مما يرفع معدلات الانتهاء إلى الفشل بأكثر مما كان متوقعا.

عندما صعدت مسز ألبرت كالدويل على متن السفينة "تايتانيك" سألت أحد البحارة "صحيح أن هذه السفينة محصنة ضد الغرق؟" فأجابها قائلا "أجل يا سيدتى، إن الإله ذاته يعجز عن إغراق هذه السفينة"، لقد ورد هذا التكهن فى كتاب والترلورد "ليلة جديرة بالتذكر"وكان قائما على أساس أن التيتانيك كانت سفينة جديدة ذات ١٦ مقصورة لا يمكن أن يتسرب إليها الماء، وحتى لو تسرب الماء إلى واحدة منها فإنها كانت ستعزل وتغلق فلا تغرق السفينة. لقد بدت تلك الاحتياطات وكأنها تكفل الأمان التام. وبالطبع، حصل ما لم يكن متوقعا. إن بروزا حادا فى جبل الجليد الذى ارتطمت به سفينة تايتانيك أحدث أخدودا بطول جانب السفينة فيما تحت الماء فتصدعت ألواح جدارها وتشققت على طول ٣٠٠ قدم. وعلى نحو مماثل غرقت السفينة الألمانية بسمارك – التى كان يظن بأنها لا تقهر – فى أول رحلة بحرية لها. وبالضبط، لخوفهم ولاعتقادهم بأنها لا تقهر أطلق البريطانيون كل أساطيلهم فى أعقابها فأغرقوها. إن التكهنات غالبا ما تخطئ.

والآن ، فلأقم أنا ببعض التنبؤات، وهى ليست بتكهنات أو مجرد آراء لخبير تخضع آماله وهواجسه للمناقشة وتقييمها بمقارنتها بآراء خبراء آخرين، كما فى كتب معظم علماء المستقبليات. ولكنها بدلاً من ذلك من قبيل التنبؤات العلمية كتنبؤ "هالى" ،

مؤسسة على فرضية علمية خاصة، تلك الفرضية التى نجحت فى الماضى بصورة تدعو إلى الدهشة. هذه التنبؤات ستخبرك إلى أى مدى من الزمان يحتمل أن تظل السلالة البشرية، وكيف كان يمكنك أن تعرف - فى حينه - كيف تتجنب الوجود على ظهر التيتانيك وبسمارك.

التنبؤ بسقوط حائط برلين

حدث فى عام ١٩٦٩، وأنا واقف بجوار حائط برلين، أن اكتشفت وسيلة لكى أتنبأ إلى متى سيدوم بقاء شىء ما ترصده. إن ذلك مبنى على مبدأ كوبرنيكوس **Copernican Principle** القائم على فكرة أنك لست فى موضع متميز بأية حال، إنه واحد من أنجح الافتراضات العلمية وأشهرها على مر العصور. وقد أطلق عليه هذا الاسم نسبة إلى نيكولاس كوبرنيكوس **Nicolaus Copernicus** الذى أثبت للناس أن الأرض لا تتبوأ موضعا متميزا أو مرموقا فى مركز الكون، ولقد تتالت بعدها اكتشافاتنا من أننا ندور حول نجم عادى، وسط مجرة عادية ضمن عنقود من المجرات العادية لتقنعنا أكثر فأكثر كيف أن موضعنا أقل تميزا مما كنا نظن. إن مبدأ كوبرنيكوس يفلح، لأنه بحكم التعريف ليس هناك من بين كل أماكن الراصدين الأذكياء سوى عدد محدود من الأماكن الخاصة المتميزة فى مقابل أضعاف أضعاف عددها من الأماكن العادية غير المتميزة. وببساطة فإن الاحتمال الأرجح هو وجودك فى واحد من هذه الأماكن غير المتميزة. لقد كان كريستيان هايجنز **Christian Huygens** أحد معاصرى نيوتن النشطين وهو الذى وضع النظرية الموجية للضوء، وصمم أكثر الساعات دقة فى عصره. استخدم هايجنز هذا المبدأ ليتنبأ - بطريقة صحيحة - بالمسافات ما بين النجوم ، إذ فكر مليا وحاول أن يبرر لماذا ينبغى أن تكون شمسنا مميزة و ذات أسطع ضوء فى الوجود؟ وأشار إلى أنه لو كان قدر التألق الحقيقى لنجم الشعرى اليمانية - وهو ألمع نجم يشاهد فى السماء ظاهريا - كتألق الشمس حقا لأمكن تقدير مقدار

بعده ببساطة بحساب المسافة التي يجب أن تبعد بها الشمس حتى تبدو فى نفس درجة خفوته[1].

لقد وجد الباحثون التالون أن هايجنز قد قدر بعد الشعرى اليمانية تقديرا صحيحا فى حدود معامل قدره ٢٠، وهو إنجاز مشهود فى ذلك الوقت.

عندما اكتشف هابل التوزيع المتساوى للمجرات فى كل الاتجاهات حولنا وتمددها بعيدا عنا، سهل علينا أن نفسر ذلك كنتيجة لتواجدنا فى مركز الكون. ولأننا لسنا أصحاب موضع متميز بأية حال، فإن أى كائن آخر فى أى موضع آخر سيرى نفس التوزيع المنتظم، وهو ما يؤدى بنا إلى نماذج الانفجار العظيم النمطية التى اتبعها جاموف، وهيرمان، وألفير للتنبؤ بوجود إشعاع خلفية الموجات فائقة الصغر الكونى، الذى يظل واحدا من أعظم التنبؤات العظيمة المرموقة التى تحقق صدقها فى تاريخ العلم، لقد تم كل هذا بالأخذ بجدية بفكرة أن موضعك ليس بأية حال بمتميز.

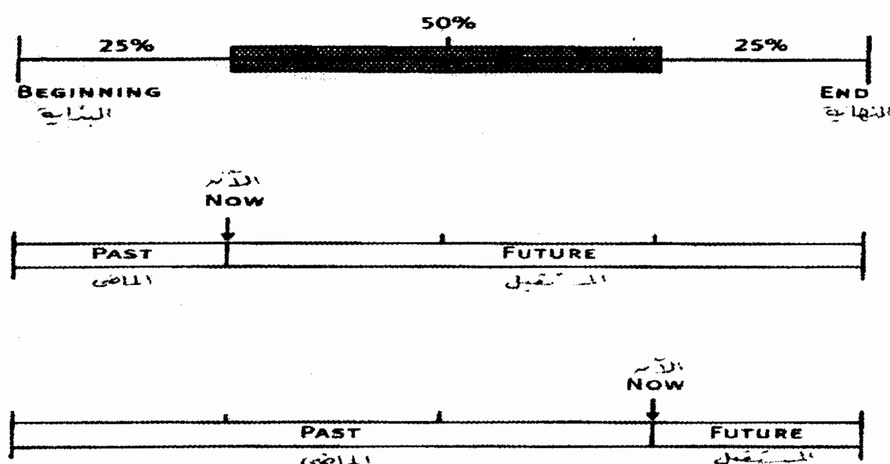
عندما زرت حائط برلين فى سنة ١٩٦٩ كان قد مر على إنشائه ثمانية أعوام. وكان الناس يتساءلون: ترى إلى متى سيستمر بقاؤه. اعتقد بعض الناس أنه يمثل وضعا مؤقتا .. شاذا وغير مألوف على حين ظن آخرون أنه سيبقى علامة ثابتة ودائمة لأوروبا الحديثة. استنتجت أنا منطقيا – استنادا إلى مبدأ كوبرنيكوس – أنه مادام لا يوجد شىء مميز فى زيارتى، فإننى ببساطة أتطلع إليه خلال نقطة عشوائية من عمره – نقطة تقع فى مكان ما بين بدايته ونهايته. وطالما لم يكن هناك شىء يميز توقيت زيارتى عن سائر الزمن، فهناك فرصة ٥٠٪ أننى كنت أتطلع إلى الحائط فى خلال الربعين الوسطين من عمر وجوده. فإذا افترضت أنى فى بداية هذه الفترة

---

(١) القدر الظاهرى للنجم هو مقياس لدرجة سطوعه كما نشاهده بأعيننا، والقدر المطلق هو درجة سطوع النجم بافتراض بعده عنا بمسافة معيارية مقدارها ٣٢,٦ سنة ضوئية. (المترجم)

المتوسطة، فمعنى هذا أنه قد انقضى ربع عمر الحائط وبقى فى المستقبل ثلاثة أرباعه. وعلى ذلك فهناك احتمال ٥٠٪ أن العمر المستقبلى المتبقى للحائط يقع ما بين $\frac{1}{3}$ ، ٣ أمثال ما انقضى من عمره (انظر الشكل ٣٠). فإذا قسمنا ٨ سنوات على ٣ لحصلنا على $\frac{2}{3}$ ٢ سنة، فى حين إذا ضربنا ٨ سنوات فى ٣ حصلنا على ٢٤ سنة.

وعليه فلدى وقوفى عند الحائط عام ١٩٦٩، تنبأت لصديقى "تشارلز ألن" وهو الآن رئيس الرابطة الفلكية، بأن هناك احتمالا قدره ٥٠٪ أن يمتد عمر الحائط المتبقى



شكل رقم (٣٠) المسألة الكوبرنيكية احتمالية ٥٠٪

إذا رصدت أمرا ما فى لحظة عشوائية من الزمن، فهناك احتمال قدره ٥٠٪ أن يقع رصدك له خلال الربعين الأوسطين من فترة الرصد الزمنية (الرسم العلوى). فى الحالة الحدية (الرسم الأوسط) تصل مدة المستقبل ٣ أمثال مدة الماضى ، وفى الحالة الحدية الأخرى (الرسم السفلى) فإن مدة المستقبل مدة الماضى. هناك احتمال ٥٠٪ أن تتواجد بين هذين الحدين بحيث تكون مدة المستقبل واقعة ما بين ٣ مرات طول مدة الماضى.

مـا بين سنتين وثلثين من السنة ، أربع وعـشـرين سنة. لم يكن لتنبـؤى صلة بسـبب سقـوط حـائط بـرلين، ولكن فقط باحتـمـال مـدة بقائه. لقـد كـان من السـهل للغـاية أن يطيش تنبؤى، فيدمر حائط برلين بسلاح نووى - بعد أقل من ثانية من تنبؤى (لقد كان ذلك - على كل حال - خلال فترة الحرب الباردة)، أو يدوم بقاؤه لألف سنة.

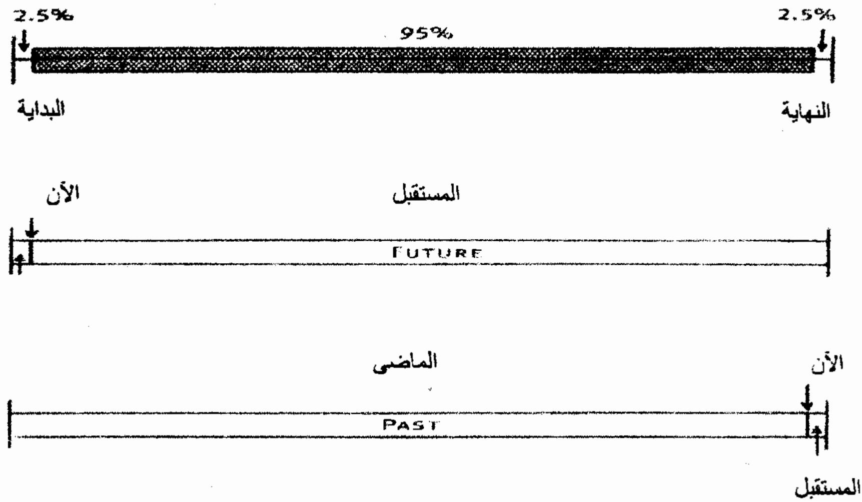
ولكن بعد مرور ٢٠ سنة ، هاتفت صديقى وقلت له "تشـارلز، أمـا تذكر ذلك التنبؤ الذى قمت به فيمـا يختص بمدة البقـاء المستقبلية لحائط برلين؟ فأجاب حسنا. أدر جـهـاز تلفـازك، إن توم بـروكـاف هـناك عند الحـائط فـى الوقت الراهن، وإنـهم يهـدمـونه الآن. عندما هدم الحائط فى ١٩٨٩ بعد ٢٠ عاما، فى اتفاق مع تنبؤى الأصلى، قررت أن أدون ذلك.

مستقبل السلالة البشرية

طاب لى أن أطبق هذه التقنية فى استعمال مبدأ كوبرنيكوس فـى أمر مهم، التنبؤ بمدة دوام الجنس البشـرى المسـتقبلية. وأصبـح هذا هو القوة الدافـعة الأسـاسيـة فى كتـابة بحثى الذى نشر فى مـجلة "الطبيعة" فى ٢٧ مـايو ١٩٩٣ بعنوان "تضمينات مبدأ كوبرنيكوس فى توقعـاتنا المستقبلية". يروق للعلمـاء - بطبيعة الحال - القيام بالتنبؤات التى يتعدى احتمـال صحتهـا ٥٠٪. والمعيار الذى يتبعه العلمـاء غالبا فى إجراء التنبؤ هو أن تزيد فرصـة صـحتـه عن ٩٥٪ وهـى نسبـة مرتفـعة ارتفـاعـا كافيًا لكى تحـذر من المراهنة ضـده، ولكنهـا أيضـا منخـفضـة بحيث تتيـح وضـع حـدود مثيـرة ومشـوقة. وقد صـارت هذه هـى النسبة المعيارية فى التنبؤ العلمى.

كيف يغير هذا من موقفى فى نقاشى حول هذه المسـألة؟ عندما لا يكون هناك ما يميز مـوضـعك فـى أثنـاء رصـدك لشىء مـا فـهناك فرصـة بنسـبـة ٩٥٪ إنك تشـاهده فى خلال الـ ٩٥٪ الوسطى من العمر الذى يمكن رصـده فيه، أى أنك لست فى أول ٢,٥٪ ولا آخر ٢,٥٪ من الفترة الزمنية التى يمكن رصده خلالها.

وتأتى النهاية إما بتلاشى واختفاء الشيء الذى ترصده – أيا كان هذا الشيء – أو إذا لم يعد هناك راصدون لرصده، أيهما يأتى أولا. إن ٢,٥٪ تكافئ جزءا من أربعين. فلو أنك فى أول نقطة زمنية من الـ ٩٥٪ الوسطى فإنك على بعد ٢,٥٪ من البداية، وفى هذه الحالة يقع ١/٤٠ من الفترة الزمنية فى الماضى، ويقع ٣٩/٤٠ من الفترة الزمنية فى المستقبل، فالمستقبل إذن يمتد إلى ٣٩ ضعفا من الفترة الماضية. وفى الحالة الحدية المقابلة، إذا كنت عند نهاية الـ ٩٥٪ الوسطى، فإنك على بعد ٢,٥٪



شكل (٣١) برهنة مبدأ كوبرنيكوس (باحتمال ٩٥٪)

عندما ترصد شيئا ما فى لحظة عشوائية من الزمان فهناك احتمال ٩٥٪ أنك وقعت عليه فى الـ ٩٥٪ الوسطى من فترة رصده (الرسم العلوى). فى الحالة الحدية (الرسم الأوسط) تبلغ فترة الزمن المستقبلى المتبقى ٣٩ ضعفا لفترة الزمن الماضى، فى حين أنه فى الحالة الحدية الأخرى (الرسم الأسفل) يمثل المستقبل المتبقى ١/٣٩ من الزمن الماضى المنقضى. فهناك احتمال ٩٥٪ أنك واقف بين هذين الحدين وأن المستقبل المتبقى هو ما بين ١/٣٩، ٣٩ مرة الزمن الماضى.

من النهاية. وفى هذه الحالة فإن ٣٩/٤٠ من الفترة الزمنية يقع فى الماضى فى حين يتبقى ١/٤٠ من الفترة الزمنية فى المستقبل، أى أن مدة المستقبل هنا تمثل ١/٣٩ من مدة الماضى. وبذلك يمكن القول - بدرجة ثقة ٩٥٪ - إنك تقف بين هذين الحدين وإن مدة البقاء المستقبلية للشيء الذى ترصده - أيا كان هذا الشيء - تقع ما بين ١/٣٩ ، ٣٩ مرة قدر عمره الماضى[١] (انظر شكل ٣١).

لقد تواجد النوع البشرى من فصيلة الإنسان المعاصر **Homo Sapiens** [١] (٢)، منذ حوالى ٢٠٠٠٠٠ سنة. ما لم يكن هناك أى شيء يتميز به وقت رصدنا الآن فهناك احتمال ٩٥٪ أننا نعيش فى الحقبة التى تمثل الـ ٩٥٪ الوسطى من تاريخ البشرية. وهكذا فيمكننا - بدرجة من الثقة تصل إلى ٩٥٪- أن نضع حدودا لفترة البقاء المستقبلية لنوعنا البشرى. إنها يجب أن تكون أطول من ٥١٠٠ سنة ولكن أقل من ٧,٨ مليون سنة (٥١٠٠ سنة تمثل ١/٣٩ من ٢٠٠٠٠٠ سنة ، ٧,٨ مليون سنة تمثل ٣٩ ضعفا لـ ٢٠٠٠٠٠ سنة). ومن الطريف أن هذا يعطينا تنبؤا بفترة بقاء إجمالية (ماضية + مستقبلية) تتراوح بين ٠,٢٠٥ مليون ، ٨ مليون سنة ، وهى تماثل كثيرا فترة بقاء سلالات الكائنات الأخرى الشبيهة بالإنسان (لقد دامت سلالة الإنسان منتصب القامة **Homo Erectus**) وهو سلفنا المباشر لمدة ١,٦ مليون سنة ، ودامت سلالة إنسان نياتدرتال **Homo Neanderthalensis** لمدة ٠,٣ مليون سنة والسلالات الثديية (٣) عموما يصل متوسط عمر بقائها إلى ٢ مليون سنة). ومتوسط فترة بقاء كافة الفصائل تقع ما بين مليون ، ١١ مليون سنة.

ربما زعم البعض أننا الآن سلالة تتميز بالذكاء، سلالة قادرة على أن تفكر بتجريد ، وتبدع الفنون (وتصوغ الأسئلة من نوعية كم سيقدر لسلالتنا البقاء) إلى غير ذلك، ومن ثم فإن قوانين انقراض الكائنات لا تنطبق علينا. فمن الوجهة النظرية يمكننا

---

(١) يقصد به الجنس البشرى الموجود الآن بعد انقراض الفصائل الأخرى منه. (المترجم).

أن نسخر اكتشافاتنا للوصول إلى وضع أفضل عن طريق الهندسة الوراثية (لنغير من ذواتنا كيفما نريد) أو عن طريق السفر عبر الزمن (لنوسع نطاق البيئات التى تصلح لسكنانا). غير أن التقنية المتطورة - على أية حال - تطرح مخاطر هائلة، كالنزاعات البيولوجية المسلحة، والأسلحة النووية المحمولة على الصواريخ الموجهة. إن تقديراتنا وفقا لمبدأ كوبرنيكوس لبقائنا المستقبلى قائمة فقط على مدة بقائنا الماضية كفصيلة ذكية، ولا تعتمد على أية بيانات عن أية أنواع أخرى. وعلى ذلك فمما تجدر ملاحظته أن التنبؤات ببقائنا المستقبلى تماثل التنبؤات التى نرصدها للأنواع الأخرى. فإذا بقينا فوق سطح الأرض، فلسوف نتعرض للكثير من المخاطر التى تواجهها الأنواع الأخرى، بما فى ذلك الأوبئة العظمى، والكوارث الجوية والبيئية، والنيازك المتساقطة، وهلم جرا، وبذلك يمكننا أن نبرهن على أن بقاءنا المستقبلى مشابه لبقائها هى الأخرى.

ومن سوء طالعنا ألا تكون هناك علاقة مثبتة بين الذكاء العام ومدة بقاء النوع. لقد كان أينشتاين حاد الذكاء، ولكنه لم يعش عمرا أطول من أى منا. ولم يدم بقاء الديناصور الرهيب من فصيلة **Tyrannosaurus Rex** إلا نحو ٢,٥ مليون سنة على حين أنه كان أبشع كائن مفترس فى حينه، وصاحب أفتك أسنان. ومن الواضح أن كبر الدماغ لا يكفل أية ضمانات لاستمرار بقاء النوع بأكثر مما تكفل الأسنان الفتاكة.

التنبؤ بالمستقبل

دعنى أقم ببعض التنبؤات عنك، قارئى العزيز. فأرجح الاحتمالات أنك لم تولد فى الأول من يناير. والأرجح أن اسمك يرد داخل الـ ٩٥٪ الوسطى من كشف دفتر تليفونات المدينة التى تقطن بها. (فى الولايات المتحدة يعنى هذا موضعا ما بين أونا **Aona** وويلسون **Wilson**) من المحتمل أن تكون قد ولدت فى مقاطعة يتخطى تعداد

مواطنيها رقم ٥,٨ مليون. أليست غالبية هذه التنبؤات (وربما كلها) صحيحة؟ لقد حزرت هذه الأمور لأننى - ببساطة - أفترض عدم وجود أى وضع متميز لموقعك فى ساعة ميلادك.

إن أية فرضية علمية جيدة ينبغى أن تكون قابلة للاختبار ، ولا تستثنى من ذلك قاعدة كوبرنيكوس ، ولحسن الحظ فإنها تزودنا بالعديد من التنبؤات التى يتيسر اختبارها فى كل يوم من الحياة اليومية العادية.

فى اليوم الذى نشر فيه بحثى (٢٧ مايو ١٩٩٣) تصفحت (النيويوركر)، وحصرت كل المسرحيات والحفلات الموسيقية المعروضة، سواء فى (برودواى) أو خارج برودواى فى ذات اليوم، فوجدتها ٤٤. قمت بالاتصال بكل المسارح وحددت طول المدة التى تواصل فيها - حتى ذلك التاريخ - عرض كل مسرحية أو حفل موسيقى، ثم انتظرت لأرى موعد انتهاء عرض كل منها. لقد اخترت المسرحيات لإجراء اختبارى لسببين رئيسيين: الأول ، إنه طالما أن معظم المسرحيات لم يكن عرضها قد بدأ منذ فترة طويلة، فمن المرجح أن أحصل على نتائج طريفة قبل مضى سنوات عديدة. والسبب الثانى أن الفترة الزمنية التى تستمر خلالها عروض برودواى المسرحية يصعب - إلى حد بعيد - التنبؤ بها. ربما وافى الأجل نجم المسرحية، وربما احترق المسرح ، وربما امتد العرض لمدة أطول لظهور بطل جديد، فالمسرحيات عرضة للايقين والفوضى (مثلها مثل أنواع الكائنات الحية). ومن ثم كانت المسرحيات موضوعا مناسبا لاختبارى. إن سبعا وثلاثين من هذه المسرحيات والحفلات الموسيقية قد توقف عرضها فى الوقت الراهن [1]، وهو ما يتفق مع درجة الثقة البالغة ٩٥٪ فى التنبؤات طبقا لصيغتى الرياضية. وعلى سبيل المثال فإن مسرحية **Will Rogers Follies** التى كان عرضها قد بدأ منذ ٧٥٧ يوما، استمر عرضها لـ ١٠١ يوما أخرى، **Kiss of the Spi-**

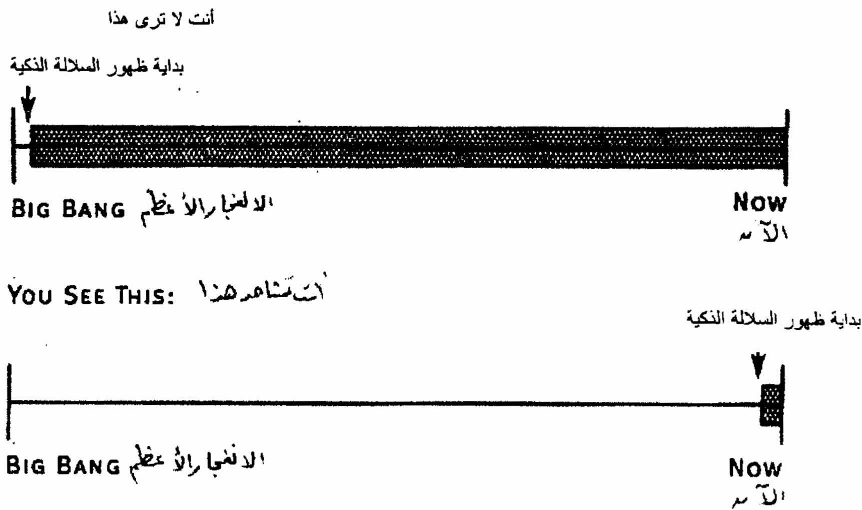
(١) يقصد المؤلف بالوقت الراهن (عام ٢٠٠١ وقت تأليف هذا الكتاب) (المترجم).

der Woman والتى كانت قد بدأت منذ ٢٤ يوما انتهى عرضها بعد ٧٦٥ يوما آخر. وفى كل من هذه الحالات كانت مدة البقاء المستقبلى محصورة داخل معامل الـ ٣٩ ضعفا للعمر المنقضى وفقا للتنبؤ.

إلى أى مدى توقع الناس لهذه العروض أن تستمر؟ أو على الأقل إلى متى ظلت أدوات الإعلان ووسائله تتنبأ باستمرار هذه العروض؟ لقد عبرت إعلانات الصحف عن Kiss of the Spider Woman بأنها "القبلة التى تدوم إلى الأبد"، على أنه وقبل انتهاء استمرار عروضها بفترة وجيزة ظهرت إعلانات جديدة تروج "لقبلة أخرى أخيرة"، فى حين تباهت الإعلانات عن مسرحية القططة "القططة .. الآن وإلى الأبد". عندما ظهر بحثى كان قد مضى على بدء عرض "القططة" ١٠,٦ عام وانتهى عرضها بعد ٧,٣ سنة بعد ذلك. كيف عرفت أن "القططة" لن يدوم عرضها إلى الأبد! لو دام عرضها إلى الأبد، لكان كل مشاهديها (عدا نسبة ضئيلة) قد ألفوها قديمة قدم الكون نفسه، ولكن ملاحظتى أن عمرها أصغر من عمر الكون بما لا يقاس، تجعل توقيت مشاهدتى توقيتا خاصا.

يخبرنا نفس التبرير أن الإنسان الأول Homo Sapiens – هو على أرجح التقديرات أول سلالة ذكية دبت على الأرض، السلالة القادرة على طرح مثل هذه الأسئلة ، وأن خلفاءه الأذكياء – إن وجد أى منهم – لن يدوم بقاؤهم أبد الدهر. أما نلاحظ أن سلالتنا الذكية يصل عمرها إلى ٢٠٠٠٠٠ عام فى كون يمتد عمره إلى ١٣ بليون سنة؟ إن النسبة ما بين هذين العمرين تصل إلى ١ : ٦٥٠٠٠، ولكن فلنفترض أن البشر وأبناءهم الأذكياء سيدوم بقاؤهم للأبد، ألن يلاحظ الناس الموجودون بعد تريليون عام من الآن أن عمر السلالة الذكية يبلغ ١٠٠٠٠٠٠٢٠٠٠٠٠سنة ، مقارنة بعمر الكون البالغ ١٠١٣٠٠٠٠٠٠٠٠٠؟ والنسبة بين هذين العمرين تبلغ ٠,٩٨٧ وهو رقم يقارب الواحد الصحيح، بل إن عددا لا حصر له من الناس والذين سيأتون بعد ذلك سيجدون هذه النسبة أقرب وأقرب إلى ١,٠ وعليه، فلو أن بقاء البشر وسلالتهم الذكية استمر بلا نهاية فإنهم جميعا عدا نسبة ضئيلة جدا منهم سيلاحظون أن تلك

النسبة تقترب من الواحد. ولكنك أنت الآن ترصد نسبة ١ / ٦٥٠٠٠ وهو رقم يقل كثيرا عن الواحد، مما يجعلك فى وضع خاص (انظر شكل ٣٢). ومن ثم فلا سلالة البشر ولا خلفاؤها الأذكياء سيقدر لهم أن يدوموا للأبد. وما دمنا قد تأكدنا من وجود نهاية فبمقدورنا أن نبين – ونحن واثقون بنسبة ٩٥٪ – أين تقع هذه النهاية: إنها فى النطاق ما بين ٥١٠٠ سنة ، ٧,٨ مليون سنة مستقبلا. لقد كنا فى كل تحليلاتنا السابقة نعول تماما على الفكرة الكوبرنيكية القائلة بأن رصدك لا يحتمل أن يتميز بشكل خاص عن راصدين مشابهين.



لو قدر أن يدوم بقاء البشر وخلفائهم الأذكياء إلى الأبد ، فإن الجميع – فيما عدا جزءا ضئيلا منهم – سيرصدون (كما فى الشكل العلوى) سلسلة أنسابهم (المظللة) وهى تقارب فى قدمها قدم الكون ذاته (بالعودة إلى الانفجار الأعظم) ، ولكنك ترصد (كما فى الشكل السفلى) أن سلسلة أنسابنا الذكية أصغر عمرا من الكون. وذلك يجعلك فى وضع خاص ، وهو ما لا يرجح حدوثه.

شكل (٣٢) ليس هناك احتمال أن يقدر لنا البقاء إلى الأبد

فى مجلة Nature الصادرة فى ٣٠ سبتمبر ١٩٩٣ ، استعمل ب.ت. لاندسبرج، ج.ن. ديوين، س.ب. بليز صيغتى ليتنبؤا إلى متى ستستمر حكومة المحافظين فى حكم بريطانيا. ولما كان حزب المحافظين فى عام ١٩٩٣ قد أمضى فى السلطة ١٤ عاما فإنهم قدروا – بنسبة ثقة ٩٥٪– أنه سيبقى فى السلطة لمدة لا تقل عن ٣,٤ شهرا ولن تزيد عن ٥٤٦ عاما. لقد خرج حزب المحافظين من الحكم بعد ذلك بمدة ٣,٦ سنة (فى ٢ مايو ١٩٩٧) بما يتفق مع تنبؤهم.

بعد أن نشر بحثى تلقيت ملحوظة طريفة من "هنرى بينين" الذى صار فيما بعد مديرا لمدرسة "وودرو ويلسون" فى برنستون. لقد أشار إلى أنه ونيكولاس فان درفال كانا قد كتبا كتابا فى ١٩٩١ عن مدة البقاء فى السلطة Time and Power . لقد خلصا – بعد دراسة إحصائية مفصلة عن ٢٢٥٦ زعيما عالميا – إلى أن الفترة المنقضية التى قضاها زعيم ما فى السلطة تصلح وسيلة جيدة للتنبؤ بالفترة التى سيستمر فيها. حقا .. لقد كانت هذه الفترة – من بين كل المتغيرات الأخرى – هى وسيلة التنبؤ التى أدت إلى أعلى درجات الثقة.

من بين ١١٥ زعيما عالميا كانوا فى السلطة يوم ميلادى (٨ فبراير ١٩٤٧)، امتد بقاء ١٠٨ (٩٤٪) منهم فى السلطة، فترات تتفق مع نسبة ٩٥٪ فى معادلة مبدأ كوبرنيكوس للتنبؤ الصحيح، وهى نتيجة جيدة حقا. كررت تلميذتى "لورين هيرولد" ذات التجربة: من بين ٢٣٢ زعيما عالميا كانوا على رأس السلطة يوم تاريخ ميلادها (١٢ مارس ١٩٧٥) كان ٢٠٩ زعماء منهم قد خرجوا من السلطة لدى انتهائها من المسح الميدانى فى ١٩٩٦ فنسبة ٩٥ ٪ بالصيغة الكوبرنيكية تنبأت تنبؤا صحيحا فى ١٩٦ حالة، والثلاثة والعشرون زعيما ممن ظلوا فى الحكم تضمنوا واحدا مضمون الخروج عن الصيغة ، لأنه كان قد تخطى الحد الأعلى سلفا، والاثنان والعشرون كان مضمونا انطباق الصيغة، عليهم (إلا إذا بقى أحدهم فى السلطة بعد أن يكون قد تجاوز المئة والخمسين عاما). وحيث إن الأمور قد انتهت إلى هذا، فإن ٢١٨ زعيما من بين ٢٣٢ – فى النهاية – قد تم نجاح قاعدة التنبؤ بالنسبة لهم بنسبة نجاح تبلغ ٩٤٪.

تحر عن زعيم وطنك فى يوم ميلادك، واحسب المدة التى كان قد قضاها حتى ذلك اليوم، ثم احسب المدة التى قضاها فى الحكم بعد ذلك حتى خرج منه .. إذا كانت النسبة بين هذين العددين فى حدود المعامل ٣٩ فقد أفلحت الصيغة. والصيغة تنجح فى حالات العالم الواقعية حتى لو كان عدد البلدان أو عدد الناس الراصدين يتناميان مع الوقت. والظاهرة الأولى - نمطيا - ستجعل رصدك فترة حكم زعيم أو تقلده لمنصبه يأتى مبكرا قليلا، لأنه إذا كان عدد الحكام فى تزايد فيعنى هذا زيادة عدد الداخلين إلى الحكم عن عدد الخارجين منه. والظاهرة الثانية - نمطيا - ستجعل رصدك يأتى متأخرا قليلا، نظرا لتزايد عدد الناس الأحياء والذين يرصدون الفترة الأخيرة من حكم الزعيم أو تقلده لمنصبه. تميل الظاهرتان إلى أن تلغى كل منهما الأخرى، وسيستمر ذلك طالما كان عدد النقاط التى ترصد متناسبا مع عدد الناس الراصدين، بقدر ما يبدو ذلك معقولا، وبقدر ما يمكن لكل شخص أن يرصد.

بعد أن أدليت بحديث لى عن هذا الموضوع فى الاجتماع السنوى للجمعية الفلكية للباسفيك، سألنى أحد الحضور بماذا يتنبأ بحثك فيما يخص بقاءك المستقبلى أنت شخصيا. ولكم الإجابة: حين نشر بحثى فى ٢٧ مايو ١٩٩٣ كان عمرى ٤٦,٣ عاما، وهكذا تنبأت لى صيغة الـ ٩٥٪ بأنى سأعيش - كحد أدنى لمدة ١,٢ سنة أخرى ولكن أقل من ١٨٠٦ أعوام أخرى. لقد تجاوزت بالفعل الحد الأدنى، وبافتراض أنى لن أصل إلى الحد الأعلى تكون الصيغة قد أفلحت فيما يخصنى. بين كل الناس الأحياء وقت نشر بحثى يمكن لصيغة الـ ٩٥٪ الكوبرنيكية أن تتنبأ بفترة بقائهم المستقبلى بطريقة صحيحة فى ٩٦٪ من الحالات، بتطبيق جداول توزيع تعداد السكان الاكتوارية على المستوى العالمى لأنسلى كول **Ansley coole** ومرافقيه لعام ١٩٩٣، وهى الصالحة لتوقعات استمرار الحياة، ولمعدلات نمو التعداد، وتوزيع تعداد السكان مع توزيع أعمارهم المتوصل إليه عام ١٩٩٣ باستخدام هذه الجداول الاكتوارية، بمقدور المرء أن يتنبأ بنسبة عدد الناس لكل فئة عمرية سيصلح معها تطبيق الصيغة. وهذه النسبة تزيد على ٩٥٪ للشباب ومتوسطى العمر، وأقل من ٩٥٪ للمواليد حديثا والمسنين جدا.

وطالما أنه ليس من المحتمل أن تقع ضمن البالغى الصغر أو البالغى الكبر ممن هم على قيد الحياة اليوم، فالأرجح أن تنجح الصيغة معك.

وبطبيعة الحال يمكنك أن تضيق نطاق فترة بقائك المستقبلى بمجرد استعمال الجداول الاكتوارية مستفيدا من حقيقة أنك تعرف لا عمرك أنت فقط، ولكن أيضا كذلك أعمار البلايين من الأناس الآخرين الذين قد وافاهم الأجل. وبالاستعانة بقاعدة البيانات الضخمة هذه، وبتطبيق مبدأ كوبرنيكوس أيضا، بمقدورك أن تفترض أن ليس لك وضع خاص بين الآدميين وتحصل على تقدير أدق. و لكن لو أنك تحيا فى جزيرة قاحلة لا تعرف شيئا البتة عن آدميين آخرين، فستسمح لك صيغة الـ ٩٥٪ الكوبرنيكية - بتطبيقها على عمرك الحالى أن تقدر تقديرا تقريبيا مدة بقائك المستقبلية بدرجة من الثقة فى دقة النتائج تصل إلى ٩٥٪. ولما كنا لا نملك بيانات اكتوارية عن أنواع الكائنات الذكية بخلاف الإنسان فإن تقدير الـ ٩٥٪ الكوبرنيكى عن فترة البقاء المستقبلية لنوعنا البشرى هو أفضل ما نستطيع تطبيقه - مع خضوعه للمناقشة والتجادل بشأنه.

والآن .. هلم إلى بعض التطبيقات التاريخية.

عندما زرت الاتحاد السوفيتى عام ١٩٧٧، وتجولت حول الميدان الأحمر، أذكر أننى قلت لنفسى" "إن عمر الاتحاد السوفيتى اليوم ٦٠ عاما فقط، فليس مقدرا له أن يستمر بقاؤه طويلا كما كان يعتقد الكثير من الناس. لقد كانت التهديدات الرئيسية لوجوده - قبل زيارتى - بما فى ذلك مهاجمته من قبل ألمانيا النازية، وتهديدات الحرب النووية إبان فترة الحرب الباردة - كانت إما اختفت أو أخذت فى التناقص. وحاول الكثيرون التدليل على أن استقراره مستقبلا فى صورة صمود مستديم فى مواجهة الولايات المتحدة أمر حتمى. على أنه اختفى بعدها بأربعة عشر عاما. أنا أسلم بأن زيارتى لم تتسبب فى انهيار الاتحاد السوفيتى ، وأن التنبؤ بالأسباب المضبوطة لتقوضه مستقبلا فى وقت زيارتى كان فى حكم المستحيل. لم تكن الشفافية "Glasnost" ولا إعادة البناء "Perestroika" متوقعتين فى عام ١٩٧٧، بل حتى لم

تكونا ضمن قاموس تعبيرات حربنا الباردة. إن صيغة الـ ٩٥٪ الكوبرنيكية نجحت هنا، ومدة البقاء المستقبلية كانت داخل نطاق معامل الـ ٣٩ ضعفًا من الماضى - حتى لو كانت القواعد قد تغيرت، وتبدل نوع التهديدات فى المستقبل عن التهديدات فى الماضى. ومجمل القول: إن هذا حدث ببساطة ، لأن توقيت زيارتى لم يكن له وضع خاص.

فى عام ١٩٥٦ صرح نكيتا خروشوف قائلا: "سوف ندفنكم". لقد اعتبر هذا تهديدا ونذير شر بأنه يخطط لتدمير الولايات المتحدة، وفى الواقع فإن هذا التعليق اسُتقى من قول روسى مأثور معناه ببساطة "سيمتد بنا الأجل إلى ما بعدكم، وسنكون شهود جنازتكم وحضور مواراتكم التراب". كان هذا ادعاء متبجحا، فعمر الاتحاد السوفيتى كان وقتها ٣٩ عاما فى حين كان قد مضى من عمر الولايات المتحدة ١٨٠ عاما. أما الواقع فهو أن الاتحاد السوفيتى اختفى بعدها بخمسة وثلاثين عاما ، فى حين استمرت الولايات المتحدة بعد انهياره.

من الخطورة بمكان أن تقوم بتنبؤات تقع خارج نطاق حدود معامل الـ ٣٩ الذى تقتضيه مسألة مبدأ كوبرنيكوس. فى عام ١٩٣٤، وبعد أن قضى فى السلطة عاما واحدا، أدلى أدولف هتلر بادعاء مشهور تنبأ فيه بأن لا ثورات قادمة فى ألمانيا فى الألف عام القادمة. أثارت نبوءته بدوام الرايخ الثالث لألف عام ذعر الناس فى العالم أجمع. ولحسن الحظ كانت مجرد نبوءة طائشة. فطبقا لمبدأ كوبرنيكوس وبدرجة ثقة ٩٥٪ تحددت فترة البقاء المستقبلى للرايخ الثالث بما بين ٩ أيام إضافية، ٣٩ عاما آخر. وفى اتفاق مع هذا التنبؤ، مات كل من هتلر والرايخ الثالث بعد أحد عشر عاما.

بمقدورنا أن نتعقب تاريخ عجائب العالم السبع فى الماضى حتى عام ١٥٠ ق.م. على وجه التقريب، فى وقت آنتيباتر الصيدونى (١) **Antipater of Sidon** . إن اثنتين من

(١) شاعر يونانى ألف حوالى عام ١٤٠ ق.م. قصيدة عن عجائب العالم القديم السبع. (المترجم).

العجائب السبع (وهما حدائق بابل المعلقة وتمثال رودس الضخم) لم تكونا موجودتين حين أعدت قائمة العجائب ، في حين كانت خمس منهن مازالت قائمة: تمثال زيوس في الأوليمب ، معبد أرتميس في إفسوس ، وضريح هاليكارناسوس ، منارة الإسكندرية ، وأهرامات مصر. بالنسبة للعجائب الأربع الأول ، والتي لم يتجاوز عمرها – وقت إعداد القائمة – أربعمائة عام ، فليس لأي منها وجود اليوم. على أن أقدمها – الأهرام – والتي بلغ عمرها وقت إعداد القائمة ٢٤٠٠ سنة هي التي بقيت بعد الآخر (إن الأشياء التي تطاول أمدها تميل إلى البقاء لمدة أطول في المستقبل، والأشياء الأحدث هي الأسرع في الاختفاء).

دوّن – بدقة – الوقت والتاريخ اللذين تقرأ فيهما كلماتي هذه: السنة ....، الشهر ....، اليوم ....، الساعة ....، الدقيقة ....، الثانية .... إن طباعة كتابي هذا ليست لها أية علاقة خاصة بك على الإطلاق. وعلى ذلك، فإن الوقت الذي سجلته لدى قراءتك لأول جملة من هذه الفقرة لا تمثل أي توقيت ذي خصوصية بالنسبة إلى الأمور التي تمثل أهمية لك. فإذا استخدمت هذا التوقيت الذي دونته كنقطة لأرصادك، فبإمكانك تطبيق صيغة كوبرنيكوس عن الـ ٩٥٪ على الفور كي تتنبأ بمدة البقاء المستقبلي لبعض علاقاتك الحالية ، البلد الذي تعيش فيه، الكلية التي درست بها أو تأمل أن تدرس بها، الشركة التي تعمل فيها أو جريدتك المفضلة.

ولكن متى لا ينبغي أن تطبق هذه الصيغة؟ لا تنتظر حتى تدعى إلى عرس زفاف صديق، وبعد دقيقة واحدة من إجراءات عقد الزواج، تعلن أن هذا الزواج لن يستمر أكثر من ٣٩ دقيقة ، فإنك حضرت حفل الزفاف لترصد – بالتأكيد – لحظة خاصة من عمر هذا الزواج ، هي لحظة بدايته ، ولكن بوسعك أن تستخدم التوقيت الذي دونته آنفا كنقطة انطلاق لأرصادك لتتنبأ بمستقبل زواجك أنت (إذا كنت متزوجا)، فقراءتك لتلك الكلمات ليس لها أدنى صلة بزواجك، ويمكنها أن تمثل أية لحظة عشوائية في مسيرته(٤).

لا يسعنى أن استخدم هذه الصيغة لأتنبأ بمدة الحياة المستقبلية لمرضى فى دار تمريض ، فدار التمريض - بحكم تعريفها - تساعد الأناس إبان توقيت خاص ، قريبا من ختام حيواتهم ، ولكن بمقدورك على كل حال أن تستعمل فترة بقاء المريض الماضية فى بيته لتتنبأ - بتطبيق الصيغة - بفترة بقائه المستقبلية.

لا تستعمل هذه الصيغة للتنبؤ بمدة بقائها هى مستقبلا، فبحثى - وكذلك البحوث التى كتبها أناس كانوا موجودين عام ١٩٩٣ - يقع بحكم التعريف فى موقع خاص من تاريخ معرفة الناس بصيغتى (أى فى بدايته) (كوضع المدعوين لحفل زفاف). ربما توقفت المعرفة بمقالتى فى المستقبل - ليس لأنه ثبت خطؤها ولكن ببساطة لأن الناس نسوها. لقد برهن "أريستارخوس" - وكان على حق - فى سنة ٢٦٠ ق.م.، على أن الأرض تدور حول الشمس، على أن كتابه فقد وأسدل ستار النسيان على عمله بدرجة كبيرة حتى مجىء كوبرنيكوس.

لا تطبق الصيغة لتتنبأ بفترة البقاء المستقبلية للكون ، فلم يكن الراصدون الأذكياء متواجدين لحظة نشوئه. وطالما أن وفاتهم قبل زوال الكون بوقت طويل هو الاحتمال الأرجح فربما كان توقيت رصدك متميزا بالنسبة لتاريخ الكون ككل، فالراصدون الأذكياء يحيون فى حقبة من التاريخ صالحة للسكنى ومن ثم تعتبر خاصة (تسمى هذه الفكرة بالمبدأ الإنسانى الواهى[١] (Weak Anthropic Principle) . وعلى كل لا يجب أن تتسم وجهة نظرك - ما بين الراصدين الأذكياء - بالخصوصية.

وللأشياء التى يزيد عمرها على عمر السلالة البشرية ، حدد البداية بأول أرصاد بشرية لهذه الأشياء، وحدد النهاية بآخر رصد بشرى لها. فنحن نتنبأ فقط

(١) ينص المبدأ الإنسانى بصفة عامة على أن هناك توازنا دقيقا فى تركيب كوننا ابتداء من نواة الذرة إلى الكون الواسع ، التوازن لا يتوفر إلا فى كوننا لكى يدعم الحياة للبشر، فالنوع الوحيد من الأكوان الذى يصلح لحياة البشر لابد وأن يكون مشابها لكوننا. (المترجم).

بالفترة المستقبلية القابلة للرصد اعتمادا على الفترة الماضية القابلة للرصد بالتعويل على فرضية أن رصدك لا يتميز عن الراصدين المماثلين، مثلها مثل جميع التطبيقات الأخرى.

تخبرنا ميكانيكا الكم أن رصدنا لمنظومة ما قد يؤثر فيها. إذا كان تنبؤك لأمر غير ذى بال يسهل تغييره (على سبيل المثال منذ متى وأنت ترتدى الملابس التى عليك الآن) فقد تخطىء فى تنبؤك ببساطة إذا خلعت كل ملابسك توا.

لو أنك كنت واقفا فى متجر للكتب، فسيكون هذا الموقف محرجا، أما إذا كنت فى منزلك تقرأ، فربما صنعت هذا بسهولة، ولكن فى الأمور ذات الأهمية - كزواجك - ليس بوسعك أن تنهيه على الفور لمجرد أن تثبت خطأ التنبؤ.

وعلى ذلك فليس من المحتمل أن يكون هذا التأثير محسوسا فى الأمور ذات الأهمية. وكمثال: ربما تسبب مقال جريدة نيتشر الذى يتنبأ بسقوط حكومة المحافظين بانجلترا من ناحية المبدأ - فى أن يصوت أعضاء البرلمان على عدم الثقة فى ذلك اليوم لمجرد إثبات خطأ التنبؤ ولكن ذلك غير محتمل، ولم يحدث لقد أرادوا أن يستمروا فى الحكم بقدر ما، يستطيعون بصرف النظر عن النبوءات التى تتعلق بمدة بقائهم.

مع قرب حلول نهاية عام ١٩٩٩ اتصلت بى "راشيل سيلفرمان" مراسلة جريدة "وول ستريت" وسألتنى أن أجرى سلسلة من التنبؤات لعددها الذى يصدر فى أول يناير ٢٠٠٠ وبحيث تركز على المستقبل. إنه يوم خاص جدا فى إطار التقويم السنوى، ولكنه - بالنسبة لرصدنا للأشياء الأخرى لا يتميز عن غيره من الأيام بأية خصوصية. وكانت الأمور التى اختارتها - بقرارها هى لا قرارى - والتى كانت تمثل أهمية لها ولقراء جريدة الوول ستريت فى نطاق نسبة الـ ٩٥٪ كمستوى ثقة فى التنبؤات ومن ثم نشرت فى ١ يناير ٢٠٠٠ هى:

الظاهرة وتاريخ بدئها	مدة البقاء المستقبلى المتنبأ بها	
	أكثر من	ولكن أقل من
آثار ستون هينج **(Stone Henge)** (١) ٢٠٠٠ ق.م	١٠٢,٥ سنة	١٥٦٠٠٠ سنة
البانثيون (١٢٦ م)	٤٨ سنة	٧٣٠٨٦ سنة
سلالة البشر (هوموسابينز) (عمرها ٢٠٠٠٠٠ عام)	٥١٠٠ سنة	٧,٨ مليون سنة
سور الصين العظيم (٢١٠ ق.م)	٥٦ سنة	٨٦١٥٠ سنة
شبكة الإنترنت (١٩٦٩)	٩ شهور	١٢٠٩ سنة
مايكروسوفت (١٩٧٥)	٧ شهور	٩٧٥ سنة
جنرال موتورز (١٩٠٨)	٢,٣ سنة	٣٥٨٨ سنة
الديانة المسيحية (حوالى ٣٣ م)	٥٠ سنة	٧٦٧١٣ سنة
الولايات المتحدة (١٧٧٦)	٥,٧ سنة	٨٧٣٦ سنة
بورصة نيويورك للأوراق المالية (١٧٩٢)	٥,٢ سنة	٨١١٢ سنة
مانهاتن (تم شراؤها عام ١٦٢٦)	٩,٥ سنة	١٤٥٨٦ سنة
جريدة وول ستريت (١٨٨٩)	٢,٨ سنة	٤٣٢٩ سنة
النيويورك تايمز (١٨٥١)	٣,٨ سنة	٥٨١١ سنة
جامعة أكسفورد (١٢٤٩)	١٩ سنة	٢٩٢٨٩ سنة

(١) أثر حجرى فى سهل ساليسبرى بجنوب غرب إنجلترا يرجع تاريخه لأواخر العصر الحجرى وأوائل عصر البرونز (٣٠٠٠-١٠٠٠ ق.م.) (المترجم).

يقصد بمانهاتن مدينة نيويورك ، إذ إن المدينة بدأت بها عام ١٦٢٦ ويمكن أن تختفى الإنترنت إما باختفاء تقنيتها، وإما إذا استبدل بها شىء آخر أفضل منها (هولودك **Holodeck** فى رحلة النجوم على سبيل المثال). وكالعادة، ربما تأتى نهاية ستون هنج ، البانثيون وسور الصين العظيم .. إلخ إما ببلاها أو باختفائها بكيفية أخرى أو حينما ينعدم الراصدون لها.

كون قائمتك الخاصة بك. إذا استخدمت الصيغة للتنبؤ بمائة أمر فى مستقبلك اخترتها بأسلوب عشوائى فتذكر أنه – فى المتوسط – ستطيش التنبؤات فى خمسة منها. انتق نصف دستة من أهم الأمور لديك، فربما – على الأرجح تصدق التنبؤات بها جميعا.

وتصلح هذه البرهنة فى مواقف الحياة اليومية، وبوجه خاص عند قيامك بسفر. ولكى تلتزم الجانب الأحوط، إذا ذهبت إلى رصيف الميناء لتستقل سفينة فى رحلة بحرية عبر المحيط، فلا تختر سفينة لم يسبق لها القيام بهذه الرحلة تسعا وثلاثين مرة على الأقل بنجاح. سيحفظك ذلك بعيدا عن السفن ذات الحظ العاثر بصفة خاصة. كانت هذه القاعدة البسيطة كفيلة بإبعادك عن ركوب "تايتانيك أو بسمارك" وستبقيك بعيدا عن ركوب أية سفينة فى رحلتها الأولى. ومن الطريف أن أسرة "فاندربيلت" ألغت سفرها على متن الباخرة تيتانيك لأن الأم كانت تتبع قاعدة خاصة بها تقضى بتجنب الرحلات الأولى لأية سفينة. كانت هذه القاعدة كفيلة بتجنبك ركوب منطاد "هيندنبرج" الذى انفجر فى رحلته الخامسة والثلاثين عبر المحيط، أو مكوك الفضاء "تشالنجر" الذى جابه كارثة فى تحليقه العاشر. إن تتبع تاريخ سجل سفينة تتم كل رحلاتها بنجاح لهو إعلان جيد عن الأمان فى السفر على متنها، دال على أن السفينة قد تخطت كل الكوارث المحتملة خلال عدد كبير من الرحلات. إذا وصلت فى توقيت عشوائى إلى رصيف الميناء ووجدت سفينة ذات سجل طويل من الرحلات الناجحة، فإن المبدأ الكوبرنيكى ينوه بأن رحلتها القادمة لن تكون هى على الأرجح الأخيرة.

عندما كنت فى "هونج كونج" راق لى أن أستقل السكة الحديدية إلى قمة جبل فيكتوريا. كان الطريق هائل الانحدار، فسألت محصل التذاكر (البطاقات): متى كان تاريخ آخر حادثة وقعت فيه، فأجاب بأنه لم يسبق وقوع حادث على هذا الطريق منذ افتتاحه قبل ٩٠ عاما. فركبت.

هل نحيا فى حقبة جميلة

تبدأ سلالة أى نوع من الكائنات الحية بأفراد قليلى العدد، ثم يصل تعداده - فى توقيت ما - إلى حد أقصى، ثم - كنمط عام - تبدأ أعداده فى التناقص إلى عدد قليل من الأفراد إلى أن ينقرض النوع. أين عساك تتوقع أن تجد موضعك أنت عبر منحنى التعداد هذا؟ بالقرب من الذروة بطبيعة الحال؛ لأن معظم الأفراد وقتها .. على قيد الحياة، فهم - ومن ضمنهم أنت - ليسوا فى وضع خاص. ويشير مبدأ كوبرنيكوس إلى ترجيح احتمال مولدك فى قرن يصل فيه التعداد إلى رقم أعلى من تعداد القرن الأوسط فى تاريخ السلالة. لماذا؟ لنفس السبب فى ترجيح احتمال مولدك فى بلد يزيد تعداده عن تعداد البلد الذى يتوسط جداول إحصاءات السكان. وهذا هو حال معظم الناس، فنصف بلدان العالم البالغ عددها ١٩٠، يقل تعداد سكانها عن ٥,٨ مليون نسمة، على أن ٩٧٪ من سكان العالم يعيشون فى بلدان يزيد تعداد قاطنيها عن تعداد ذلك القطر الذى يقع فى وسط الجدول. وبالمثل سيحيا معظم الناس فى القرون ذات الاكتظاظ بالسكان، والاحتمال الأرجح أنك واحد منهم حقا. فالقرن العشرون والقرن الحادى والعشرون أكثر اكتظاظا بالسكان من أى وقت مضى وحتى الآن.

يعتقد كثير من الناس أنا محظوظون ومتميزون، إذ ولدنا فى حقبة مشهودة تتوالى فيها الاكتشافات العظيمة، من السفر عبر الزمن إلى الطاقة الذرية والهندسة الوراثية. غير أن مبدأ "كوبرنيكوس" على أية حال يقول إن الاحتمال الأرجح أنك

تعيش فى قرن مكتظ بالناس، ولما كان الناس هم من ينجزون الاكتشافات فمن المرجح أن تولد فى قرن شائق تكثر فيه الاكتشافات. على أنها ضئيلة هى فرصة ولادتك بعد ٢٠٠٠٠٠ عام من بداية السلالة الذكية، فى نفس القرن الذى ينجز فيه اكتشاف فذ يضمن له تفرده بالبقاء تلقائيا لبليون عام قادمة، فالراصدون الأذكياء سيكونون قد ولدوا خلال البليون عام بعد هذا الاكتشاف وسيرجح احتمال أن تكون واحدا منهم.

الأرجح أنك تحيا بالقرب من ذروة التعداد السكانى، فى حقبة من الانفجار السكانى ملأ الناس فيها كل بيئة ملائمة لهم. يشير "جول كوهين" فى كتابه "كم من الناس بمقدور الأرض أن تعول؟" إلى أن التقدير المتوسط للخبراء للحد الأقصى لتحمل الأرض هو ١٢ بليون نسمة ، فإذا كان تعدادنا الحالى [١] يبلغ ٦ بليون نسمة فقد وصلنا إلى المعامل ٢/١ من هذا الرقم. ربما ستعيش عقب حدث ما (كاكتشاف الزراعة) من شأنه أن يؤدى إلى طفرة فى التعداد، ولكن قبل حدث يتسبب فى انكماش هذا التعداد. لذا، فينبغى أن تؤخذ تحذيرات من يقولون بتناقص التعداد مستقبلا على محمل الجد. إن تناقص التعداد ربما نجم عن كارثة بيئية أو تكنولوجية أو حرب نووية أو بيولوجية، أو عن وباء ما، أو ببساطة لتفضيل الناس إنجاب عدد أقل من الأبناء. فإذا اكتفى كل زوجين - فى المتوسط - بطفل واحد فقط، فسيتسبب هذا فى هبوط التعداد خلال ٣٠٠ عام إلى ١٠٠٠/١ من التعداد الحالى. كم يبدو مأساويا الانتقال من عالم ذى ٦ بليون نسمة إلى عالم به ٦ مليون شخص! ولكن هل يبدو هذا أكثر سوءا من قيامك برحلة من نيوجيرسى التى تبلغ كثافتها السكانية ١٠٠٠ شخص لكل ميل مربع، إلى ألاسكا ذات الكثافة السكانية البالغة شخصا واحدا فى الميل المربع؟

(١) أى وقت تأليف هذا الكتاب عام ٢٠٠١ ، على حين وصل تعداد العالم عام ٢٠٠٩ طبقا لبيانات الأمم المتحدة إلى ٦.٣ بليون نسمة. (المترجم).

سيكون هذا التناقص خطيرا حقا. ولا يتسبب فى انقراض الأنواع حدث واحد. قد يؤدى حدث ما إلى انخفاض حاد فى التعداد بحيث يتعرض النوع فى زمن آخر لمخاطر أكثر ناجمة عن أحداث أخرى لم تكن ذات علاقة، وينتهى الأمر بانقراض النوع تماما. إن رسما بيانيا لتاريخ تعداد النوع البشرى ربما يبين تعدادا منخفضا فى مرحلته الأولى - مرحلة الصيد وجمع الثمار، ثم طفرة حادة فى التعداد تصل به إلى ١٢ بليون (بتأثير المدنية)، تتبعه عودة مرة أخرى إلى مستويات التعداد فى حقبة الصيد وجمع الثمار. ويتوقع أنك تعيش فى مرحلة الارتفاع المفاجئ. إن المدنية (بمعنى ظهور المدن ، والكتابة) عمرها ٥٥٠٠ سنة فقط ، وهو ما يعنى - بنسبة ثقة ٩٥٪ - أن بقاءها المستقبلى سيربو على ١٤٠ عاما ولكنه لن يتخطى ٢١٤٠٠٠ سنة. ولأنها تتميز بالتغير السريع فإن المدنية غير مستقرة عبر الفترات الزمنية الطويلة، تنحدر مبتعدة عن الوجود بالنسبة للأنواع ككل. ولما كنا لم نرصد سوى انفجار سكانى واحد حتى الآن، فإن مبدأ كوبرنيكوس ينبئنا بأن المرجح عدم حدوث الكثير من الانفجارات السكانية مستقبلا (أى أكثر من ٣٩). ربما كنا نعيش - يومنا هذا - فى فترة الانفجار السكانى الأول والأوحد.

كم من الناس عساهم سيولدون فى المستقبل؟ تشير قاعدة كوبرنيكوس إلى أن فرصة وجودنا فى وسط الـ ٩٥٪ الوسطى من التسلسل (٥) الزمنى لبنى البشر الآن تصل إلى ٩٥٪، وحيث إن دراسات الإحصاءات السكانية السابقة تشير إلى أن نحو ٧٠ بليون نسمة قد ولدوا عبر تاريخ سلالتنا البالغ ٢٠٠٠٠٠ سنة حتى الآن، فبوسعنا أن نقول - ونحن على ثقة بنسبة ٩٥٪ - أن عدد من سيولد فى المستقبل سيتراوح ما بين ١,٨ بليون كحد أدنى، ٢,٧ تريليون حدا أعلى.

ذات مرة بعد ظهور بحثى فى مجلة "نيتشر **Nature**" سألنى مقدم برامج إذاعية "ألم يحدث أن سألت نفسك ألا أعد أنا شخصيا مميزا باعتبار اكتشافى هذا الشىء المدهش .. أن نتنبأ بالمستقبل بتطبيق مبدأ كوبرنيكوس؟" كنت أتوقع السؤال، فقلت له إننى اختلفت إلى "مكتبة بحوث التعداد السكانى" ببرينستون كى أطلع على كل ما

يتيسر لى الحصول عليه عن التقديرات المستقبلية للتعداد. تنبأ الكثير من الباحثين بأن تعدادنا سيقفز فى القرن القادم إلى زهاء ١٢ بليون نسمة قبل أن يستقر عند هذا المستوى إلى الأبد. ولا يبدو أن أحدا قد تحقق من أن مثل هذا السيناريو يخالف مبدأ كوبرنيكوس. لو كانت هناك حقبة وجيزة من النمو الأسى (أى بدالة أسية)، تليها فترة من الثبات فى التعداد العالى، فسيولد الجميع تقريبا فى هذه الفترة ذات التعداد العالى والثابت. ولكنك لست ضمن هؤلاء، مما يجعلك ذا وضع خاص. تعجبت ما إذا كان ثمة شخص آخر قد فكر يوما فى هذا. إن قاعدة كوبرنيكوس ذاتها أزعجتنى، مذكرة إياى بأنه ليس لى أن أكون متميزا، فسيفكر آخرون فى ذلك أيضا. ولكن .. لماذا لم أعثر على أية بحوث عن ذلك؟ إنى أعلم أن التاريخ حافل بحالات كثيرة من العلماء - فيهم نيوتن وداروين وكوبرنيكوس - الذين توصلوا إلى نتائج مهمة تثير مضامينها الجدل، ولكنهم تباطؤوا فى نشرها. بالإضافة إلى هذا، كان هناك مثالى أنا: لقد اكتشفت مبدأ كوبرنيكوس فى ١٩٦٩، واستخدمته فى التنبؤ بمستقبل حائط برلين. ورغم أنى أخبرت العديد من أصدقائى عنه خلال محادثاتنا العابرة على الغداء، فإنى لم أنشره إلا بعد أن حثنى على ذلك سقوط الحائط بالفعل. إنى لأذكر كيف فكرت - حين لم أعثر على بحوث حول هذا الموضوع - أن آخرين ربما فكروا فيه ولم ينشروا أفكارهم بالقدر الذى يسمح لى - على الأقل - بالاطلاع عليها، وهو ما يجعلنى أقل تميزا.

ولقد ظهرت صحة تبريرى هذا ، عندما أرسلت ببحثى إلى مجلة "نيتشر". كان "براندون كارتر" أحد المحكمين الذين أرسلت لهم المجلة بحثى، وهو خبير العالم الرائد فى "المبدأ الإنسانى"، تلك الفكرة أن الراصدين الأذكياء لابد وأن يتواجدوا فى مواضع تصلح للسكنى من الكون. ولا يكشف عادة عن شخصية المحكمين، ولكنهم يسفرون عن شخصياتهم إذا شاءوا - مثلما فعل "براندون كارتر" فى حالتى. لقد تحمس لدعم بحثى، وطفق ينوه بأنه كانت لديه - فيما يختص بالتعداد المستقبلى - أفكار

مماثلة منها أنه من غير المحتمل أن تجد نفسك ضمن العدد الضئيل من البشر الأوائل على مدى الحياة. ولقد عبر عن هذه الأفكار فى ختام محاضرة عامة عن "المبدأ الإنسانى" عام ١٩٨٣، وإن لم ينشرها. وفيما بعد سمع الفيلسوف الكندى المرموق "جون ليسلى" بمحاضرة كارتر فاقتنع بالفكرة وبأهميتها، ونشر تعليقات عليها فى "النشرة العلمية للجمعية النووية الكندية" فى ١٩٨٩ وفى دورية **Philosophical Quarterly** عام ١٩٩٠، ومجلة **Mind** عام ١٩٩٢ وأشار كارتر إلى أن الفيزيائى الدنماركى "هولجارنيلسن" قد توصل إلى نتائج مماثلة عن التعداد المستقبلى فى بحث نشر فى **Acta Physica Polonica** عام ١٩٨٩، وأسعدنى أن أضيف هذه المراجع إلى بحثى، وهذا التقارب فى الأفكار الذى يشبه وشائج القربى.

استخلص نيلسون مثلى – دون أن يشير إلى مبدأ كوبرنيكوس صراحة – أن على المرء أن يتوقع عشوائية موضعه فى سجل التتابع الزمنى لبنى البشر، وأشار على نحو صحيح إلى أن ذلك يعنى ترجيح احتمال أن يعادل عدد البشر فى المستقبل عدد البشر السابقين، ولا يحتمل لك أن تجد نفسك ضمن القلة القليلة التى وجدت من أوائل البشر، كما اعتبر نموذجين للانقراض: ١:– انقراض فجائى .. حيث يرتفع التعداد باطراد ثم يهبط بغتة إلى الصفر، ٢:– انخفاض تدريجى بعد الوصول إلى ذروة التعداد، ويماثل شكل منحنى الانخفاض شكل منحنى الصعود كأنه انعكاس لصورة فى مرآة، واستنتج فى حالة الانقراض الفجائى قرب حلول نهاية السلالة، نظرا لأن حالة التكدس السكانى الحالية، لن تجعلنا نحتاج لقرون كثيرة حتى تتراكم أعداد البشر مستقبلا بنفس الأعداد التى كانت فى الماضى. وفى حالة نموذج الانخفاض التدريجى أشار إلى أنه رغم استمرار بقائنا لمدة تعادل مدة بقائنا فى الماضى، تظل صورة النتائج مثيرة للفزع. ولما كان ارتفاع التعداد سريعا فى الماضى فإنه – كصورة منعكسة فى مرآة – سينخفض بصورة كارثية فى المستقبل.

وأنا أوافق على أن الأفضلية – فى نموذج الانقراض الفجائى – ستكون لتكدس الراصدين قرب النهاية. وفى بحثى أشرت إلى أنه لو ارتفع التعداد باطراد قبل نهاية مفاجئة فعلى أن أعيد النظر فى الحد الأعلى الذى وضعته للبقاء المستقبلى (٧,٨ مليون سنة) وأهبط به إلى ١٩٠٠٠ سنة. على أننى أشرت أيضا إلى أن هذا هو أكثر نماذج التعداد السكانى تشاؤما. فببساطة إذا انخفض التعداد إلى مستوى متدن بدلا من الانتهاء إلى الانقراض، فسيمتد البقاء المستقبلى بقدر الماضى. افترض أن مرحلة التناقص فى التعداد السكانى – بعد وصوله لذروته – ستتشابه مع مرحلة التزايد – كصورة مرآة، فيما عدا امتدادها زمنيا بمعامل ما. عندئذ سيبقى الحد الأعلى لبقاء البشر المستقبلى – بدرجة ثقة ٩٥٪ – عند ٧,٨ مليون سنة، وذلك لأنه إذا استغرق التناقص زمنا = ٣٩ مرة زمن التزايد، فإن ٣٩/٤٠ من الناس سيولدون بعد الذروة فى التعداد. وطالما ليس لنا معرفة بتواريخ تعدادات الأنواع الذكية الأخرى، فمن الأفضل أن نتحفظ، مفترضين أن الطفرة فى تعدادنا الحالى ستحدث ببساطة فى توقيت عشوائى من تاريخ البشرية، وهى وجهة نظر تميل إلى أن تستوعب العديد من سيناريوهات التعداد المحتملة أكثر من ميلها إلى اتباع سيناريو متشائم (سيناريو الانقراض الفجائى). إذا كنت تحيا فى فترة الطفرة السكانية وحدثت هذه الطفرة فى توقيت عشوائى من تاريخ الإنسان فإن تنبؤاتنا عن البقاء المستقبلى – بدرجة ثقة تصل إلى ٩٥٪ – هى تماما كما حسبنا آنفا: أكثر من ٥١٠٠ سنة ولكن أقل من ٧,٨ مليون سنة. (حقا .. يبدو أن مولد الزراعة الذى بدأت به الطفرة السكانية قد سهله حدث عشوائى فى الظروف المناخية (وهو انقضاء العصر الجليدى). وبصفة عامة، فلتستخدم الزمن الماضى لتتنبأ بالمستقبل ولتستخدم عدد الناس فى الماضى لتتنبأ بعددهم المتوقع فى المستقبل).

أسس كارتر وليزلى تصورهما عن تعداد البشر المستقبلى على وجهة نظر إحصاءات "بايز" **Bayes** وهى معالجة إحصائية مختلفة، بيد أنهما توصلا إلى نتائج شبيهة.

وتشكل إحصاءات "بايز" المسماة باسم توماس بايز الرياضى المرموق [١] (١٧٠٢ - ١٧٦١) الأساس للكثير من جوانب نظرية الاحتمالات الحديثة. وتطرح طريقة إحصاءات بايز كيف ينبغى أن تراجع الكثير من المعتقدات العتيقة ويعاد اختبارها فى ضوء المعلومات الحديثة المستقاة من الأرصاد (تقول نظرية بايز إن علينا مراجعة معتقداتنا القديمة عن حساب نسبة الاحتمال إلى عدم الاحتمال فى ظل حدوث افتراضين وذلك بضربهما فى احتمال رصدك ما ترى، بمعلومية الافتراضين المختلفين). هذا التحول فى طريقة الحساب إلى طريقة بايز أتاح لكارتر وليزلى أن يحاولا برهنة أن من المستبعد أن يجد الشخص نفسه فى الـ ٠,٠١٪ الأولى من كل البشر الذين ولدوا، وبدقة كيف تطيش التوقعات التى تعتمد على المعتقدات المسبقة للمرء عن مستقبل البشرية. وطالما أننا لا نحوز أية بيانات اكتوارية مسبقة عن حضارات ذكية تساعدنا فى حساباتنا، فإنى أطرح فكرة أنه بدلا من الاعتماد على معتقدات ذاتية مسبقة عن بنى البشر فأفضل للمرء أن يتبع ما يسمى بمعتقد بايز المسبق غير المحدد **Vague Bayesian Prior Belief** ، وهو معتقد مسبق (على طريقة اللا أدريين)[٢] عما يمكن أن يصل إليه فى النهاية إجمالى تعداد البشر، فينظر إلى كل التقديرات مبدئيا بنفس عين الاعتبار، وأن لها نفس الصلاحية على قدم المساواة مع غيرها ، ثم إعادة النظر فى هذه التقديرات تأسيسا على الحقائق التى تم رصدها من أنك تحتل تقريبا رقم ٧٠ بليون فى ترتيب مواليد البشر. وقد قاد سير هارولد جيفريز من جامعة كامبردج هذه التقنية عام ١٩٣٩، وفى بحثى المنشور عام ١٩٩٤ فى (نيتشر) استطعت أن أبين أن المعالجة بأسلوب "بايز" واستخدام طرق جيفريز قد أعطت بالضبط مستوى ثقة يبلغ ٩٥٪ ، مثلما أعطت نتائج تطبيق مبدأ كوبرنيكوس.

---

(١) عالم رياضى انجليزى - من رواد نظرية الاحتمالات وله فيها مبرهنة Theorm معروفة باسمه. (المترجم)

(١) الشخص اللا أدرى هو الذى يعتقد أنه ليس هناك دليل على وجود ذات إلهية، ولكنه لا ينكر إمكانية وجودها. (المترجم).

إنه ليبدو من المعقول أن تتفق كلا المعالجتين[٦] لأن كليهما تحذر من قبول الافتراضات التى يكون فيها ما ترصده غير محتمل الوجود.

مستقبل برنامج غزو الفضاء

مع الاستدلال بمبدأ كوبرنيكوس، فلنر ما يمكننا عمله لتحسين منظور البقاء المستقبلى لسلالتنا البشرية. ستزودنا المستعمرات المستقلة ذاتيا فى الفضاء بسياسة تؤمن الحياة ضد أية كوارث محتملة على الأرض، والتى سيراها المشاهد من هذه المستعمرات مجرد كوكب مغطى بحفريات الأنواع التى انقرضت. إن الهدف من برنامج غزو الإنسان للفضاء يجب أن يكون العمل على رفع آفاق بقائنا المستقبلى، وذلك باستيطان الفضاء.

لقد وضع اليونانيون القدماء كل كتبهم النفيسة فى مكتبة الإسكندرية، وما من شك فى أنهم لم يقصروا فى حراستها جيدا، بيد أنها – فى النهاية – احترقت. ولحسن الحظ كانت بعض نسخ من مسرحيات سوفوكليس محفوظة فى مكان آخر، وهى الوحيدة التى بقيت لنا (٧ مسرحيات من ضمن ١٢٠). تخبرنا نظرية الفوضى أن ليس فى مقدورنا أن نتنبأ اليوم بالسبب المحدود لفنائنا كنوع ، فبحكم التعريف، وأيا كان سبب انقراضنا، فإنه سيكون أمرا لم يسبق لنا أن خبرناه حتى الآن. لعلنا لسنا على درجة من الذكاء تجعلنا نحسن إنفاق أموالنا على الأرض بما يكفل لنا أفضل فرص للبقاء المستقبلى. ربما ننفق – بحسن نية – المال لننقذ بقعة معينة من غابة تجودها الأمطار، لا لشىء إلا لكى ينمو فى تلك البقعة فيما بعد فيروس فتاك يأخذ فى إبادتنا جميعا. ولكن إنفاق الأموال فى بناء مستوطنات فى الفضاء يمنحنا فرصا أفضل. وكأننا نحفظ مجموعة من مسرحيات سوفوكليس بعيدا عن مكتبة الإسكندرية.

إلى متى عساه يستمر برنامج غزو الإنسان للفضاء؟ فى بحثى بمجلة (نيتشر) بتاريخ ٢٧ مايو ١٩٩٣ أشرت إلى أن عمر البرنامج بلغ وقتها ٣٢ عاما، وتنبأت - بدرجة ثقة ٩٥٪ - أنه سيستمر على الأقل لمدة عشرة شهور أخرى ولكن لأقل من ١٢٥٠ سنة. منذ أن نشر بحثى، استمر برنامج غزو الإنسان للفضاء وتخطى الحد الأدنى فى تنبؤى (١٠ شهور) مبرهنا على صحة نصفه.

يتوقع بعض الناس أننا - وإن خبا حماسنا لغزو الفضاء واقترب موعد انتهاء برنامجه - ربما سنعود فى القرن المقبل - فى نهاية المطاف - للفضاء، عندما تيسر التقنية الأفضل سفرا للفضاء بتكاليف زهيدة، ويشبه هؤلاء الناس رحلة نيل أرمسترونج للقمر برحلة "ليف أريكسون" إلى شمال أمريكا، والتى سبقتها بقرون عديدة. إن محاولة الفايكنج الوصول لأمريكا لم يحالفها التوفيق، ولكن كولمبوس عبر الأطلنطى بعدها بخمسة قرون. وفى هذا النموذج ربما تخلينا عن السفر إلى الفضاء فى القرن الحادى والعشرين، ولكن فقط لكى نستأنفه ثانية فى القرن السادس والعشرين، فى ظل موجة من الغزو تحملنا إلى المريخ، ومنه - فى بحر بليون سنة - لنغطى كل مجرتنا فى النهاية.

ولكن مبدأ كوبرنيكوس يخبرنا أن هذا السيناريو بعيد الاحتمال. أنت الآن تحيا فى حقبة السفر إلى الفضاء، إذا حلت حقبتان للسفر للفضاء إحداهما قصيرة والأخرى طويلة ، ففى أيهما ترجح أن تجد نفسك؟ فى الحقبة الأطول بالطبع، ويرجح أن يقل عدد السنوات المستقبلية لغزو الإنسان للفضاء عن ١٢٥٠ عاما ، سواء امتدت هذه السنوات فى شكل حقبة متصلة أم مراحل عديدة متقطعة. وذلك لأن العام الذى ظهرت فيه مقالتى (١٩٩٣) ينبغى أن يبدو عشوائيا فى سجل الترتيب الزمنى لسنوات غزو الفضاء.

لذا ، فالاحتمال الأرجح هو أن يشكل سفر الإنسان للفضاء حقبة قصيرة نسبيا، تكون بمثابة كوة ضيقة من الفرص تتهيأ لدينا خلالها الفرصة لاستعمار الفضاء بعيدا

عن الأرض، وما لم ننجح فى استعمار الفضاء خلال تلك الفترة فسنبقى مغلولين إلى الأرض، عرضة لكل الأخطار التقليدية التى تفضى إلى انقراض الأنواع.

ولما كان الوقت ضيقا فلابد لنا من التركيز على تشييد أول مستعمرة مستقلة ذاتيا فى الفضاء، وذلك فى أقرب وقت ممكن، وهذا الاستقلال الذاتى من الأهمية بمكان، فسيتيح لها أن تستمر، حتى لو انقطع التمويل اللازم لإقلاع رحلات لها من الأرض مستقبلا. إن وجود ولو مستعمرة واحدة مستقلة ذاتيا بالفضاء من شأنه أن يضاعف من آفاق البقاء المستقبلى لجنسنا البشرى، إذ يمنحنا فرصتين مستقلتين لذلك بدلا من واحدة.

ربما طاب لنا أن نتابع البرنامج المباشر للسفر إلى المريخ الذى يدعمه خبير الفضاء الأمريكى "روبرت زوبرين". ولكن بدلا من استعادة رواد الفضاء من على سطح المريخ فلعل من الأفضل أن ندعهم هناك ليتكاثروا ويقتاتوا على مواردهم الذاتية. فنحن نريدهم على المريخ، فهناك سينتفعون بالبقاء على قيد الحياة بعد الآخرين. لقد وضح زوبرين أن مركبة من رتبة زحل-٥ حين تنطلق يمكنها أن تحمل حمولة إجمالية صافية قدرها ٢٨,٦ طنا إلى سطح المريخ، وبناء على حساباته يمكن لمركبتين من طراز (زحل-٥) أن تقلاّ ٤ رواد فضاء إلى سطح المريخ وترجعاهم إلى الأرض. وبالمقارنة قدر جيرالد أونيل من برنستون أن مستعمرة مستقلة ذاتيا فى الفضاء ذات بيئة مقفلة يمكن أن تشيد بوزن حوالى ٥٠ طنا من المحيط الحيوى [١] لكل شخص وبذلك سيحتاج بناء مستعمرة مستقلة ذاتيا لثمانية أشخاص فوق المريخ - كحد أدنى - إلى نحو ١٨ مركبة من طراز (زحل-٥) (اثنتان لرواد الفضاء واثنتان لطائرة العودة فى حالة الطوارئ تهيئان بيئة صالحة على السطح و تبقيان دون استعمال) و١٤ لنقل ٤٠٠ طن من المواد اللازمة لعمل المحيط الحيوى للمستعمرة. ويتعدى ذلك العدد بقليل صواريخ (زحل-٥) الستة عشر التى صنعت فى برنامج أبوللو.

(١) المحيط الحيوى هو الجزء من سطح الكوكب وغلافه الجوى اللازم للإبقاء على الحياة. (المترجم)

ربما تردد كثير من الناس فى حجز أماكنهم برحلة - اتجاه واحد - إلى المريخ. ولكن الجميل أننا فى حاجة إلى ثمانية أشخاص فقط من ذوى الأرواح الجسورة والمتحمسة. نحتاج فقط أن نعثر على ثمانية أشخاص يفضلون قضاء ما تبقى من أعمارهم فى استكشاف المريخ، وتأسيس حضارة جديدة على العودة إلى المهرجانات والمواكب العامة فى مدينة نيويورك. ستكون مهمة هؤلاء المستوطنين خلال ثلاثين عاما أن ينجبوا ١٦ طفلا ويضاعفوا حيز سكناهم ثلاث مرات، مستخدمين خامات المريخ (ولضمان التنوع الجينى، يمكن اصطحاب خلايا بويضات ومنى مجمدة). إذا استمرت المستعمرة فى مضاعفة حجمها كل ٣٠ سنة، فيمكن أن يصل تعدادها فى غضون ٦٠٠ سنة إلى ٨٠٠٠٠٠٠ نسمة. وعلى المدى الطويل - وكما وصف كريستوفر ماكاى خبير ناسا فى الجيوفيزياء والفلك - يمكن حتى أن يهندس جو المريخ ويطوع غلافه الجوى بحيث يصبح أقرب شبها بما للأرض من مناخ وغلاف جوى، وهى إمكانية يطلق عليها **Terraforming**. لا أدعى سهولة ذلك - فهكذا يبين مبدأ كوبرنيكوس - غير أن هذا هو ما ينبغى أن نحاوله.

هذه المستوطنات صفقة مدهشة. كل ما نفعل هو أن نبعث برواد الفضاء، ليتكاثروا دون أن يجشمونا أية تكاليف إضافية، فالمستوطن هو من يقوم بكل العمل. وبمقدور المستوطنات أن تنشئ مستوطنات أخرى. وفى النهاية، لقد كانت أولى الكلمات التى نطق بها على القمر بالإنجليزية. ليس لأن إنجلترا هى التى أرسلت رواد فضاء إلى القمر، وإنما لأنها زرعت مستوطنة فى شمال أمريكا قامت هى بذلك العمل، وبزرع مستوطنة على المريخ باستطاعتنا أيضا أن نضاعف من فرصنا فى الذهاب - فى نهاية الأمر - إلى منطقة ألفا قنطورس، فمن ذا الذى بمقدوره أن يقول من عساهم سيطلقون رحلة إلى هناك بعد ألف عام من الآن: أناس من الأرض أم أناس من المريخ!

ربما استدعى تشييد مستوطنة على المريخ أن ينفق الجنس البشرى من المال على سفر الإنسان للفضاء مستقبلا قدر ما قد أنفقه فى الماضى وعبر نفس الفترة الزمنية،

وهو ليس بالأمر المستغرب. إن سباق الفضاء الحقيقى هو ما إذا كنا سننجح فى استيطان الفضاء قبل أن تنفد أموالنا المرصودة لاستكشافه. لو أننا خسرنا هذا السباق فسنظل أسرى الأرض، حيث سيكون مآلنا الانقراض لا محالة .. ربما فى غضون أقل من ٨ ملايين عام.

تخبو المشاريع ذات التكنولوجيا المكثفة، أو تموت غالبا حينما تختفى الدوافع الأساسية إليها. يصف كورت مندلسون فى كتابه "أحجية الأهرامات" اقتصاديات بناء الأهرام مقارنا إياها ببرنامج غزو الفضاء. لقد كان الغرض المزعوم من بناء الأهرام هو توفير مقبرة للفرعون. ولكن بناء الأهرام قد ازدهر بعد توحيد مصر العليا ومصر السفلى مباشرة فى دولة مصرية واحدة ، وساعد العمل العام فى هذا المشروع الهائل على تجميع البلاد. وحقيقة يبرهن مندلسون على أن ذلك كان هو العلة الحقيقية فى بنائها. وما إن توطدت أركان الدولة حتى اختفى هذا السبب. وما بين الهرم المدرج الأول فى سقارة والبالغ ١٤٠ قدمًا ارتفاعًا، وأعلى الأهرام (هرم خوفو الذى يصل ارتفاعه إلى ٤٨١ قدما) انقضت فقط ٩٠ سنة. وكانت الأهرام التى شيدت بعد ذلك أضأل حجما وأكثر تواضعا فى جودتها، إلى أن توقف تشييد الأهرام تماما بعد زهاء ألف سنة. أما الفراعنة المتأخرون – مثل الملك توت عنخ آمون – فقد دفنوا بالوادى فى مقابر أدنى فخامة وأكثر بساطة وأقل تكلفة.

وعلى الرغم من أن الغرض الظاهرى من إرسال أناس إلى القمر هو استكشاف الفضاء، فقد كان السبب الحقيقى والمؤكد هو الحرب الباردة. إن الاستعراضات الفضائية – ابتداء من سبوتنيك وتحليق يورى جاجارين فى الفضاء – كانت سبيل خروشوف لإثبات امتلاك الاتحاد السوفييتى لتقنية الصواريخ الموجهة القادرة على نقل الأسلحة النووية لأية منطقة من العالم، وإن لم تستخدم واقعيا. وقد رد كيندى بإرساء هدف إرسال رجل إلى القمر. وبتوقف الحرب الباردة تعرض غزو الفضاء للخطر. وفى مقابلة تليفزيونية مع محطة **CNBC** بمناسبة الذكرى السنوية الخامسة والعشرين لأول هبوط على سطح القمر قلت: "إننى شديد القلق من مجىء يوم لا يبقى فيه أناس

أحياء ممن قد خطوا على سطح القمر". كم سيكون هذا يوما حزينا ، ومفاجأة كبيرة لكثير من الناس. على أنى أشك فى أن الناس ستستقبله بتشوق وحنين واستسلام بدلا من قرار حماسى بالعودة إلى القمر وإلى ما هو أبعد. ربما سيقول بعض الناس "واأسفاه، حقبة مضت .. كم من الأشياء المدهشة اعتدنا أن ننجزها، خسارة أننا لا نستطيع أن نتخيل عمل هذه الأشياء اليوم". سنصير مثل المصريين المتأخرين فى الأزمنة الذين يتطلعون إلى الوراء فى إعجاب إلى الأهرام.

فى ستينيات القرن العشرين أثيرت قضية ارتفاع كلفة السفر للقمر، فى ظل الاحتياج إلى الموارد للإنفاق على أوجه أخرى: مواجهة الفقر، فيتنام، الحقوق المدنية وغير ذلك من المشكلات[١]، وضرورة الانتظار حتى عقد التسعينيات الذى كان ينتظر فيه أن تكفل التكنولوجيا تقليل كلفة السفر. أما على أرض الواقع فقد غدا تدبير المال قرب نهاية القرن للذهاب إلى القمر أكثر صعوبة. ولحسن الطالع استمررنا فى الستينيات عندما تهيأت لنا الفرصة، ولو أننا انتظرنا لفوتنا على نفسنا الفرصة وما كنا لنصعد إلى القمر حتى الآن.

فى عام ١٩٦٩ كان لدى فيرنر فون براون كبير مهندسى الصواريخ فى برنامج أبوللو خطط لإرسال الإنسان إلى المريخ بحلول عام ١٩٨٢، وهو ما لم يحدث، فقد قرر ريتشارد نيكسون عدم الذهاب إلى المريخ وإلغاء برنامج أبوللو قبل الأوان وتفكيك خط تجميع المركبة (زحل ٥). وعندما عرضت عليه خطط فون براون للذهاب إلى المريخ اختار أن يصرف النظر عنها ، وتحولت ثلاثة صواريخ من طراز (زحل ٥) تم بناؤها ولكن لم تطلق قط - إلى مجرد قطع متحفية. ودمرت قوالب التشكيل لبناء الصاروخ (زحل ٥)، وقدر لهذا الصاروخ الرائع أن تنتهى حياته ليحل محله مكوك فضاء أصغر منه. فى سنة ١٩٨٩ وعد الرئيس بوش بإرسال بشر إلى المريخ مع حلول عام ٢٠١٩

(١) يعبر المؤلف هنا عن وجهة نظره كمواطن بالولايات المتحدة. (المترجم).

وبدلا من الاقتراب من المريخ فقد ابتعدنا عنه. فالأمور لا تتيسر دائما بمرور الوقت، والجهود الثمينة تهمل جانبا بعد حين فى أغلب الأوقات.

فى هذا المجال أشار "تيموثى فيريس" إلى أن الصينيين تخلوا فجأة فى القرن الخامس عشر عن كل استكشافاتهم البحرية بعد أن كانوا قد وصلوا إلى أفريقيا. وهاك مثالاً آخر: فى القرن السابع عشر شيد "شاه جاهان" مقبرة تاج محل من أجل زوجته "ممتاز محل" التى توفيت فى أثناء وضعها لطفلها ، وهو مبنى ذو طراز فريد من المرمر الهندى الأبيض البراق ، ويعده الكثيرون ممن شاهدوه - وأنا منهم - أبهى مبنى فى العالم بأسره. وطبقا لأسطورة شائعة فقد خطط شاه جاهان مقبرته هو، كتوأم لمقبرة تاج المتلألئة ، وإنما من رخام أسود ، بحيث تواجه أختها عبر النهر ، ويصل بينهما جسر يبهر العيون ، مرصع بالرخام الأسود والأبيض ، أى منظر كان سيبدو! على أنه لم يتم، فقد استولى "أورانجزيب" ابن شاه جاهان على عرش أبيه ووضعه رهن الاعتقال بمنزله ، ولم يتم أبدا بناء الجزء الأسود. كانت فرصة بنائه فى أثناء حكم شاه جاهان مواتية، كان كل الحرفيين المهرة قد تم تجميعهم، وكانت كل المقومات من خبرة وظروف اقتصادية مهيأة. وبالطبع عرف الناس بالقصة وكان بإمكانهم أن يعودوا ويتموا البناء فى أى حقبة لاحقة، ولكن أحدا لم يفعل.

إذا لم نتحرك لانتهاز الفرصة المواتية، فإنها قد لا تعود ثانية إذا تخلينا عن برامج السفر للفضاء فإن البدء فيها من جديد سيكون فى صعوبة العودة أدراجنا لنبنى تاج محل الأسود.

لذا .. فهذا تحذير: إن لدينا الفرصة الآن كى ينطلق جنسنا البشرى منتشرا بعيدا عن الأرض. ألا نتدبر حقيقتين مرعبتين: إن جنسنا بعد فى مقتبل العمر إذ لم يتخط عمره ٢٠٠٠٠٠ عام مقابل ١٣ بليون سنة، وأن لجنسنا نطاقا جغرافيا بالغ الدقة (مجرد كوكب ضئيل ضمن كون هائل الرحابة). إنهما حقيقتان يحسن بنا أن نربط بينهما. إن الكائنات ذات المجال الجغرافى المحدود لا يدوم بقاؤها بقدر بقاء غيرها ذات المجال الجغرافى الأوسع، ذلك لأن الأخيرة تكون ببساطة أصعب زوالا،

والكائنات المعزولة فى جزيرة وحيدة تجابه أعظم أخطار الانقراض. وأرضنا فى الكون إنما هى أشبه بجزيرة ضئيلة، ونحن قابعون أسارى للأرض فى انتظار هلاكنا. إن هذا التحذير إنما هو تحذير مزدوج، فهو تحذير من احتمال اللامبالاة بالتحذير نفسه. ولم لا؟ لأنك ولدت على الأرض ولهذا فمن بين كل الكائنات البشرية المولودة سواء فى الماضى أو الحاضر أو المستقبل على الإطلاق ، لابد وأن جزءا محسوسا منها قد ولد على الأرض، وإلا لكنت ذا وضع خاص. ويعنى هذا أنه ليس محتملا للجنس البشرى أن يأبه بهذا التحذير ويفر من الأرض منطلقا منها فى أرجاء الكون الرحبة. وربما يكون هذا هو السبب فى هلاك مبكر محتمل لسلالتنا. إن التخلى عن برنامج غزو الإنسان للفضاء لهو غلطة مأساوية، ويبدو أننا مقبلون على ارتكابها.

الدرس المستفاد من المسافر عبر الزمن

إن السفر عبر الزمن مشروع للحضارات فائقة الرقى، فالسفر عبر الزمان إلى المستقبل يقتضى حضارة ألفت السفر فيما بين الأجرام السماوية. والسفر عبر الزمان إلى الماضى قد يحاوله أصحاب حضارة فائقة الرقى تحسن التحكم فى مصادر طاقة المجرة بأسرها. لعل بمجرتنا بليون كوكب صالح للسكنى. إن حضارة راقية تقوى على استيطان كامل مجرتها سيفوق تعدادها بليون مرة قدر تعدادنا على سطح الأرض الآن. وبالمثل فهذه الحضارة الراقية يندر وجودها بمقدار بليون مرة عن حضارات أسيرة كوكبها الأم، وإلا لكانوا قد تحكموا فى هؤلاء الراصدين الأذكياء فى الكون لتجد نفسك – على الأرجح – تحيا فى مثل هذه الحضارة الراقية.

وأنت راصد ذكى، شخص واع وقادر – بتجرد – على التفكير المنطقى. فبقدر ما نعلم، سلالتنا هى الأولى على الأرض التى يمكن تصنيفها كراصدين أذكياء، فالشمبانزى والحيتان، والصراصير والبكتريا لا تطرح أسئلة من نوعية "إلى متى سيستمر بقاء سلالتى المستقبلى؟."

باعتبارك راصدا ذكيا ، فينبغى أن يكون موضعك فى الكون متفردا إلى الحد الذى يؤهله لأن يكون من ضمن مجموعة المواضع الصالحة للسكنى. وهذا هو حجر الزاوية فى "المبدأ الإنسانى الضعيف" Weak Anthropic Prinicle وكما صاغه "براندون كارتر" فى عام ١٩٧٤، وهو أسلوب فى الاستنتاج سبق وطبقه أستاذ برنستون روبرت"دايك" أولاً فى سنة ١٩٦١ لقد استنبط "دايك" أنك - باعتبارك مراقباً ذكيًا - يحتمل أن تجد نفسك بعد الانفجار الأعظم ببليون عام [١] قبل ذلك بكثير لم يكن لدى النجوم الوقت الكافى لإنتاج الكربون الضرورى لصنع البشر[٢] وبعد ذلك بكثير ستكون النجوم قد احترقت و الكون أقل صلاحية للسكنى. و يتوصل تطبيقى لمبدأ كوبرنيكوس إلى أنك ربما كنت فى حقبة خاصة من عمر الكون؛ لأنك - بدقة - مراقب ذكى ، ولكن من بين هؤلاء المراقبين الأذكياء لا ينبغى أن تكون مميزاً ، و عليك أن تتوقع لنفسك موضعًا عشوائيًا فى قائمة الترتيب الزمنى للمراقبين الأذكياء فى الكون . و الأكثر من ذلك ، ينبغى أن تتوقع أن تحيا فى حقبة من عمر الكون يزدحم فيها بالمراقبين الأذكياء، لأن معظمهم سيحيون فى ذات الحقبة. لو أن الحضارات الذكية دامت - نمطيًا - للأبد لعاش كل الراصدين الأذكياء تقريبًا فى المستقبل البعيد ، بعد أن تكون النجوم قد احترقت بأمد طويل ، ولا يعنى هذا بالضرورة عدم وجود حياة ذكية فى المستقبل البعيد لمجرد أن نسبة ملموسة من جملة الحياة الذكية تتواجد فى الحقبة الحالية... تلك الحقبة التى تحترق فيها النجوم، والتى يبدو فيها الكون أصلح ما يكون للسكنى. ربما ستكون هناك أشكال من الحياة الذكية فى المستقبل البعيد ، و لكنها ستكون فقط نادرة ، وإلا لكان من المحتمل أن تكون واحداً منها . وبالمثل بالنسبة للحضارات فائقة الرقى لا يتطلب المبدأ الكوبرنيكى عدم وجود أى منها ، ولكنها ببساطة يجب أن تكون نادرة.

(١) (وهو متوسط عمر النجوم). (المترجم)

(٢) (من الطهاة إلى الفزيائيين). (المترجم)

ذات يوم من عـام ١٩٥٠ فى لوس ألامـوس وفـى أثناء طعـام الغـداء ، سـأل الفيزيائى المرموق "انريكو فيرمى" سؤاله المشهـور عن الكـائنات خارج نطاق الأرض وغـلافـهـا الجـوى: " ترى أين هم؟" والإجـابة على سؤال فـيـرمى – من واقع المبدأ الكوبرنيكى – هى أن نسبـة مـحـسـوسـة من جـملة الراصـدين الأذكيـاء لابد وأنهم مـازالوا قـابعين على كـوكـبـهـم الأم – تماما كـشـأننا – وإلا لكنا ذوى وضـع خـاص. أليست هذه هى الإجابة البسيطة؟

إذا فكرت فى أن فرص استيطـان الفضاء ستتـكرر للعـديد من المرات، فلتسـأل نفسك "لماذا لا أكون واحدا من مـسـتـوطنى الفـضـاء؟ "إذا كنت تعـتـقـد أن مـعظم المراقبين الأذكياء فى الكون هم عبارة عن حـاسبات آلية ذكية وواعـية أو مـخلوقات مـهندسة جينيا فـلابد وأن تسـأل نفسك لماذا لست أنا حـاسـبة آلية ذكـية؟ لماذا لست مهندسا جينيا؟

والكون مكان فسيح – ربما لا نهـائى – فلعل السـلالات الذكيـة العـارضـة تكون أكثر نجاحـا منا الآن. على أن مـعظمـهـا – فيـمـا نرجح – ليست كذلك. ويقـول مـبدأ كوبرنيكوس: من المحتمل أن تـأتى من سلالة ذكية يزيد تعدادها الآن عن المتوسط(٧). وهذا صـحـيح لنفس السبب فـى أنك على الأرجح من بلد يربو تعداده على تعـداد البلد المتوسط، ببسـاطة؛ لأن مـعظم المراقبين الأذكيـاء لهم نفس وضـعك. وهكذا، وبمقـيـاس التعداد، يرجح أننا الآن أحد أنجح وأذكى السلالات وأكثرها تعدادا.

إن الجزء من الحضارات التى تشبه حضـارتنا والتى سـتؤول فى خـاتمة المطاف إلى حضـارة فائقة الرقى تزدحم بقاطنيها لابد وأنها الآن فى مرتبة متدنية، وإلا لكنت الآن مقيما – على الأرجح – فى واحدة من هذه الحضارات فائقة الرقى. والحضـارات فائقـة الرقى قادرة على الاتيان بإنجازات مذهلة، بل إننا – على الأرجح – غير مؤهلين لنصبح واحدة منها. لعل بعض السـلالات الذكيـة تطور من قدرتها على السـفـر عبر الزمن فـتزور المستقبل البعيد أو حـتى الماضى. غير أن الاحـتمال الأرجح أن ذلك لم

يقع. فالسفر عبر الزمن عسير حقا. فلو افترضنا أن كل الراصدين الأذكياء فى الكون تقريبا قد قاموا به - ما دمنا لم نقم نحن به - فإن هذا يجعل لنا وضعا خاصا. ولا يعنى هذا أن السفر عبر الزمن فى حكم المستحيل، ولكنه يعنى ندرة احتماله الشديدة على أفضل الأحوال. ومثلما أشار "داروين" إلى أن معظم الأنواع لا تبذل قصارى ما لديها من جهد. فبعض أنواع الأسماك تضع أنثاها مليون بيضة، بيد أن معظم هذه البيضات لا يقدر لها أن تصل إلى طور الأفراد البالغين كاملى النمو. وبالمثل، لا تخلف معظم الأنواع خلفاء لها. ولا تجرى الأشياء عادة على النحو الذى نتصوره ونبتغيه. وهذا هو السبب بالضبط لماذا يتوق كثير من الناس لزيارة الماضى ليغيروا من أمور مضت على نحو خاطئ أو ليستنقذوا محبوبا أثيرا لديهم أو ليوقفوا هتلر قبل وصوله للسلطة. فالحياة - غالبا - ذات طبيعة تراجيدية.

يقدم الذكاء المتطور إمكانيات رحبة للقوة والبقاء المستقبلى، ولكن هذه القدرة يجب تحقيقها بالكامل من وقت لآخر، وإلا لأصبح موقفنا شاذا. فالأخلاقيات تحفز بقدر ما تحبط.

فالحياة الذكية - من هذا المنطلق ومن حيث المبدأ - ذات قدرة عالية، ولكن نظرا لتعقدها فهى هشة عند اختبارها عمليا. لقد كدسنا مسيرة ٢٠٠٠٠٠ سنة فى ذريرة ضئيلة من هذا الكون الذى يبلغ عمره ١٣ بليون عام. لسنا بالأقوياء كثيرا، فنحن نتحكم فى مصادر للطاقة هى جد ضئيلة حتى بمقارنتها بشمسنا، ولا نتمتع بتاريخ ماض طويل البقاء.

وبقدر ما تبدو هذه الحقائق داعية للتواضع، فإننا خلال هذه الحقبة الوجيزة قد حققنا شيئا مشهودا. لقد عرفنا الكثير عن نواميس الفيزياء والكون، ونحن ندرك كم كان الكون أضأل حجما فى الماضى منه الآن، ولدينا تصور عن كيفية تكون المجرات وكيف احتلت الأرض مكانها، ولدينا من الحصافة ما يكفينا لنتعرف موضعنا بالكون. وهو مستوى مرموق من الوعى والمعرفة. فإذا وعينا هذه الأشياء فإن نسبة معقولة من راصدينا الأذكياء سيفهمونها أيضا، إننا نأمل أن يتفوق هؤلاء الراصدون الأذكياء

ويأتوا بالبطولات فى مجال الفهم أكثر من تفوقهم فى مجالات مدة البقاء المستقبلى أو القوة. إن القدرة على طرح الأسئلة توحى بالقدرة على الإجابة عليها، ولكن لم يتبق لدينا الوفير من الوقت. هذا هو جوهر التقرير الآتى من المستقبل وخلاصته. وأحد أهم الأشياء التى علينا أن نعيها عن الزمان هو أنه لم يعد لدينا سوى النزر اليسير.

فلا تضيعى وقتك أيتها الإنسانية، فليس لديك سوى اليسير، وهذا هو سر المسافر عبر الزمان.

ملاحظات وهوامش المؤلف

الباب الأول : الحلم بالسفر عبر الزمن

١ - "فى مكان ما من الزمان: "Somewhere in time هذا العرض السينمائى بنى على أساس كتاب "("Bid Time Return" نيويورك - مطبعة فايكنج، ١٩٧٥).

٢ - "إن خط عالمه معقد حقا": ضمن ميكيوكاكو فى كتابه عام ١٩٩٤ -Hyper space رسما لخط عالم "جنى" فى الزمكان. (نيويورك: دبل داى) ص ٢٤١.

٣ - "ميكانيكا الكم": إن لفيزيائيات الثقب الأسود نصيبها من التناقضات. برهن جاكوب بيكنشتاين على وجود مقدار من التشوش (يطلق عليه الانتروبيا) مصاحب للثقب الأسود. وقد وضح ستيفن هوكنج مع آخرين أنه لكى يتسق ذلك مع قوانين الديناميكا الحرارية، فينبغى أن يكون للثقب الأسود درجة حرارة محددة. على أن ذلك لا معنى له، فكل الأشياء ذات درجة الحرارة المحددة ترسل إشعاعا حراريا، فى حين ليس بوسع الثقوب السوداء أن تبعث أى إشعاع على وجه الإطلاق ، فلا يمكن لأى إشعاع أن يفلت منها. وعندئذ خرج هوكنج بظاهرة كمومية من شأنها أن تسبب انبعاث الإشعاع من الثقب الأسود، سمى بإشعاع هوكنج (وهو أعظم اكتشافات هوكنج). وهكذا .. فحيثما تكمن التناقضات توجد الفرصة كى تتمخض هذه التناقضات عن فيزيائيات عظيمة.

٤ - "فكر هوكنج بطريقة مختلفة": إلى جانب سيمون ومعاونيه، عالج مشكلة حسابات الاحتمالات الكمومية فى وجود آلة زمن كل من ستيفن هوكنج ، سيث

روزنبرج (من جامعة كاليفورنيا - سانتاباربرا)، وآرلي أندرسون (من الكلية الملكية بلندن)، مستخدمين طرقا مختلفة، ومتوصلين لإجابات مختلفة، مما يفتح الباب أمام استمرار العمل على حل هذه المشكلة.

الباب الثانى : السفر عبر الزمن إلى المستقبل

١ - "كان ماكسويل ملما بسرعة الضوء": بما أننى سأكثر من الإشارة إلى سرعة الضوء خلال الفضاء الخاوى فى أحايين كثيرة، فقد قربت قيمتها إلى الرقم التقريبى ٣٠٠٠٠٠ كيلو متر فى الثانية. أما سرعة الضوء الحقيقية خلال الفضاء الخاوى فتبلغ بالضبط ٢٩٩٧٩٢,٤٥٨ كيلومتر فى الثانية.

٢ - "الادعاء بأنهم كانوا فى حالة سكون": هنا مثال لراصدين يتحركون بسرعة منتظمة وإحساسهم بأنهم فى حالة سكون. إذا سافرت على متن طائرة فإنك تلاحظ أنه حالما وصل الملاح إلى ارتفاعه المطلوب وأخذ فى القيادة بسهولة وسلاسة بسرعة منتظمة، دونما حيود عن الاتجاه للأمام، فإننا نشعر كما لو أننا على الأرض. بوسعك أن توقف قطعة نقود على صينية منضدتك، أو تتمشى عبر ممر الطائرة، تماما كما لو كانت الطائرة قابعة على أرض المطار. وفى الواقع لو كانت كل النوافذ فى الطائرة معتمة بحيث لا يمكنك النظر خارجها فسيصعب عليك أن تجزم هل أنت على الأرض أم تنطلق فى الهواء بسرعة ٥٠٠ ميل فى الساعة. ستكون أدلتك كلها سمعية (أصوات المحركات، صفير الرياح) فيما عدا هذا فلن تشعر بأى فرق بين جلوسك فى المطار أو تحليقك فى الطائرة.

٣ - "وعلى متنه رائد فضاء": يمكن لرائد الفضاء ويمكننى أن نتأكد من أن كلا ساعتينا الضوئيتين على نفس المسافة بين مرآتيهما بإجراء اختبار ماهر طرحه فى صيغة مختلفة قليلا أ.ف. تيلور، وجون أ هويلر فى كتاب فيزيائيات الزمكان Space-time Physics (سان فرانسيسكو: و.هـ.فريمان ١٩٩٢). سنضع ساعتينا عموديتين

على الاتجاه الذى يحلق إليه رائد الفضاء فى مروره بى. على سبيل المثال إذا كان الرائد مارا بى من اليسار إلى اليمين فيمكننا وضع الساعتين فى وضع عمودى بحيث يتحرك الشعاع الضوئى إلى أعلى وإلى أسفل. دع رائد الفضاء يعلق ساعته خارج صاروخه ويحلق بالقرب منى قربا كافيا بحيث تحدث مرآتا ساعته خدشا أو أثرا على جدار مختبرى فى أثناء مرورهما. بالمثل سأضع أنا مرآتى ساعتى خارج مختبرى بحيث تحدثان خدوشا أو آثارا على جدار صاروخ الفضاء وهو يمرق أمامى. افترض أننى رصدت أن الخدوش على جدار معملى تفصلها مسافة أقل ممن ٣ أقدام بحيث يقع خدشان منهما بين مرآتى ساعتى العمودية. عندئذ سيكون على رائد الفضاء أن يرصد أن مرآتى قد مرتا خارج مرآتيه لتحدثا خدوشا على جانب صاروخه تفصل بينها مسافات أكبر من المسافات التى تفصل الخدوش التى أحدثتها مرآتاه ، وسيتفق كلانا على أن ساعتى كانت أطول من ساعته. وإذا اعتقدت أنى فى حالة سكون فسأظن أن عصى القياس التى يحملها راصد يمرق بسرعة ينكمش طولها دائما وبطريقة ما فى الاتجاه العمودى على خط الحركة. أما هو ، فعلى النقيض من ذلك، سيعتبر نفسه فى وضع سكون، وسيستنتج أن أدوات القياس التى يحملها راصد يمرق بسرعة (هو أنا فى هذه الحالة) تزداد طولا فى الاتجاه العمودى على خط الحركة. على أن هذا سينتهك المسلمة الأولى؛ لأنه يعنى أن نواميس الفيزيائيات بدت مختلفة لى عما بدت لرائد الفضاء، وهو ما لا ينبغى أن يكون. وستبرز مشكلة مماثلة إذا نحن تبادلنا الأدوار، بحيث كانت الخدوش التى تحدثها مرآتا ساعة الرائد الضوئية على جدار مختبرى ذات مسافات بينية أطول من المسافات البينية بين خدوش مرآتى. والسبيل الوحيد لكى يرى كلانا نفس الظواهر الفيزيائية هو أن يجد بناء على قياساته المسافة البينية للخدوش التى أحدثتها مرآتاى على جانب صاروخه (وهى التى افترضناها تساوى ثلاثة أقدام) مساوية للمسافة البينية التى تحدثها مرآتا ساعته على جدار مختبرى بناء على قياسى أنا (أى ٣ أقدام أيضا)، أى إن كل مرآتين ستخدشان الأخريين عندما تمران ببعضهما البعض ، وهكذا تتطابق أرصادنا ، وهو ما تتطلبه

المسلمة الأولى. ويؤكد هذا أن أدوات قياسه وأدوات قياسى تقيسان نفس الشيء. (إن أينشتاين لا يأخذ الأمور على عواهنها ولا يسلم بها دون تمحيص).

٤ - "ويتفق كل الراصدين على المقدار": يطلق على المقدار الذى يتفق عليه كل الراصدين د ف ويمكننا أن نكتب (د ف)٢ = - (د ز)٢ + (د س)٢ + (د ص)٢ + (د ع)٢، حيث تعنى د ز الفارق الزمنى بين حدثين قريبى الوقوع، د س الفرق المكانى فى اتجاه اليمين - اليسار، د ص الفارق المكانى فى اتجاه الأمام والخلف، د ع الفارق المكانى فى اتجاه الأعلى والأسفل. لاحظ العلامة السالبة قبل حد الفاصل الزمنى والذى يميزه عن حدود الفواصل المكانية الثلاثة الأخرى.

٥ - "ألفا قنطورس": حيث إننى أكثر من الإشارة غالبا إلى هذا النجم فأذكر أننى قد قربت المسافة بيننا وبينه إلى أقرب سنة ضوئية (٤ سنوات ضوئية). إن ما نطلق عليه ألفا قنطورس وهو النظام النجمى الأقرب إلى الشمس، هو فى الواقع منظومة نجمية ثلاثية: ألفا قنطورس (أ)، وهو نجم من فصيلة شمسنا، ألفا قنطورس ب وهو نجم برتقالى اللون أخفت بريقا، ألفا قنطورس ج وهو نجم شديد الخفوت من فصيلة الأقزام الحمراء. ويكون النجمان (أ)، (ب) منظومة ثنائية يبلغ بعدها عن الأرض ٤,٣٥ سنة ضوئية، أما النجم (ج) والذى يطلق عليه أحيانا (الأقرب القنطورى أو بروكسيما قنطورى) فهو فى الوقت الراهن أدنى منا قليلا (٤,٢٢ سنة ضوئية من الأرض). عندما يذكر الناس ألفا قنطورس فهم عادة يعنون النجم (أ) الشبيه بشمسنا. فى مراحل دراستى بالمدرسة، وباعتبارى فلكيا هاوياً ، كنت شغوفا دوما برصد ألفا قنطورس، ولكن لأنه نجم يقع ناحية القطب الجنوبى، فقد كان دائما تحت الأفق بالنسبة لموضعى فى كنتاكى. رأيته لأول مرة بعد ذلك بسنوات وأنا فى تاهيتى خلال رحلة لى حول العالم. وعندما وصلت إلى تنزانيا، كان بمقدورى أن أرصد كلا من النجمين (أ)، (ب) من خلال تليسكوب صغير. وكان ذلك مبعث سرور غامر لى.

٦ – "البلاد المسطحة Flat Land ذات البعدين": فى البلاد المسطحة ذات البعدين يمكننا أن نكتب (د ف)^{٢} = -(د ز)^{٢} + (د س)^{٢} + (د ص)^{٢} حيث لن يكون هناك سوى بعدين مكانيين فقط.

٧ – البلاد الخطية Line land فى البلاد الخطية يمكن أن نكتب (د ف)٢ = -(د ز)٢ + (دس)٢.

٨ – الزمن الحلم Dream Time لو أن لدينا بعدين زمانيين (الزمان والزمان الحلم) بالإضافة إلى الأبعاد المكانية الثلاثة الأخرى فبمقدورنا أن نكتب (د ف)٢ = - (د ز)^{٢} – (د ح)^{٢} + (د س)^{٢} + (د ص)^{٢} + (د ع)^{٢} حيث تعنى (د ح) الفاصل بين حدثين فى (الزمن الحلم). لاحظ العلامة السالبة التى تسبق كلا من الزمن والزمن الحلم.

الباب الثالث : السفر عبر الزمن إلى الماضى

١ - "مشكلا إياها فى هيئة أسطوانة": لقد استعملت أنا هذه الطريقة لتجسيد الفكرة فى برنامج تليفزيونى، كما صورها إيجور نوفيكوف فى كتابه (نهر الزمان The River of Time) كامبردج - انجلترا: مطبعة جامعة كامبردج ١٩٩٨).

٢ - "كيف بدت معادلات أينشتاين": الحدود فى معادلة أينشتاين لها دلالتان يرمز لهما الحرفان المكتوبان إلى أسفل، وفى الزمكان ذى الأبعاد الأربعة يمكن لكل منها أن يتخذ أربع قيم، (ثلاثة أبعاد مكانية وبعد زمنى) ومن ثم فإن هذه المعادلة فى الحقيقة تقوم مقام ٤ × ٤ = ١٦ معادلة. ولهذا السبب كتبت هذه المعادلة مع الإشارة إلى معادلات أينشتاين كما ينبغى. ولحسن الحظ تكافئ بعض من هذه المعادلات تلقائيا بعضها البعض بحيث تخلف لنا ١٠ معادلات مستقلة هى التى يتوجب علينا حلها.

٣ - "قال أينشتاين عن فترة مخاض الأفكار هذه": اقتبست هذا التعبير من كتاب التثاقل Gravitation لـ ك.و.مسنر، ك.س. ثورن، ج.أ.هويلر (سان فرانسيسكو: فريمان - ١٩٧٣). صفحة ٤٣ مستشهدا بـ م.كلين كمرجع.

٤ - "كورت جوديل": كانت شهرة "جودل" قد انتشرت من قبل بفضل مبرهنته (عدم الاكتمال) (Incompleteness) والتى نشرت عام ١٩٣١، وقبل جودل كان علماء الرياضيات يؤملون فى العثور على منظومة محدودة من البديهيات المسلم بها من شأنها أن تعبد الطريق لإثبات كافة المبرهنات الحقيقية فى هذا المجال. وقد طرح جودل فى معرض بحثه عن هذه المنظومة مبرهنة تناقض نفسها يمكن تبسيطها - دون

التقيد بالحرفية – فى النص التالى: هذه المبرهنة لا يمكن إثباتها. فلنفترض أنك تستطيع أن تثبت هذه المبرهنة ، فهذا يناقض نص المبرهنة وهى باطلة، وإذا كنت لا تستطيع برهنتها، فنص المبرهنة صحيح ، على أنك لا يمكنك إثباتها باستخدام بديهياتك. وفى كلا الحالين تفشل البديهيات فى تحقيق هدفها. وهكذا فالرياضيات غير مكتملة. ربما تعتبر مبرهنة جودل إنجازا فريدا وأهم تطور فى الرياضيات فى القرن العشرين.

٥ – "ويليام هيسكوك": من الناحية الرياضية يمكن صياغة حل فيلنكين التقريبى للوتر الكونى فى الصورة: (د ف)^{٢} = –(د ز)^{٢} + (د نق)^{٢} + (١–٨ µ) نق^{٢} (د Ø)^{٢} + (د ع)^{٢}. والآن قارن هذا بالحل المضبوط الذى عثرت عليه أنا وهيسكوك. (د ف)^{٢} = –(د ز)^{٢} + (دنق)^{٢} + (١ – ٤ µ)^{٢} نق^{٢} (د Ø)^{٢} + (د ع)^{٢} هناك فقط فرق طفيف ، (د ف)^{٢} هو مقدار يمكن أن يتفق عليه راصدون مختلفون، د ز هو الفارق الزمانى بين حدثين قريبين، د نق هو الفرق بين المسافة نصف القطرية إلى الوتر، د هو الفرق فى الزاوية حول الوتر، د ع هو الفارق فى المسافة العمودية أعلى أو أسفل الوتر. هو مقدار الكتلة لكل وحدة طول من الوتر معبرا عنها بوحدة بلانك للكتل (٢ × ١٠ – ٥ جرام) مقسوما على طول بلانك (١,٦ × ١٠ –٣٣) سم فنحصل على ١,٢٥ × ١٠ ٢٨ جرام لكل سنتيمتر. وحيث إننا نتوقع قيمة لـ فى حدود ١٠ –٦، فالحل التقريبى جد قريب من الحل المضبوط.

٦ – "وللسماح بالسفر عبر الزمان إلى الماضى": تعتمد السرعة اللازمة للوصول إلى السفر عبر الزمن على مقدار الكتلة لكل وحدة طول من الأوتار. كلما قلت كثافة الأوتار، كلما صغر القطاع الدائرى المنزوع الذى تخلقه ، وكلما قصر المسار المختصر، وازدادت الحاجة إلى سرعة أعلى لتحرك الأوتار وتتيح السفر عبر الزمن، ولكن لدى قيمة محددة للكتلة لكل وحدة طول ، بمقدورنا دوما أن نجد سرعة ملائمة (تقل عن سرعة الضوء) تمر بها الأوتار ببعضها للسماح بالسفر عبر الزمن.

٧ – "لقد عثر جـوث وزميـلاه فى الـ : "MIT يرتبط الحل عن طريق فكرة الأوتار – كمـا ذكرت – بالحلول المحتـوية على كتل فى (العـالم المسطح). فـقط احـذف بـعدا مكانيا. إن بحوث كارول وفارهي وجوث، إلى جانب نتائج توصل لها جيراردت هوفت (العدد ٩ من كلاسيكال آند كوانتم جرافيتي – ١٩٩٢ ص ١٣٣٥) قد وضـحت أنه لا يمكن لشخص بناء آلة زمان فى العالم المسطح فى ظل شروط ابتدائية استاتيكية أو كتل تتحرك ببـطء (بافتراض وجـود أجسـام موجـبة الكتلة فقط). وبطبيعة الحال، فإن حلي للسفر عبر الزمن الذى يتضمن كتلتين تتحركان بسرعة تقارب سرعة الضـوء، ليس به مثل هذه الشروط الابتدائية، لذا فقد افترضت بحوثهم مجموعة قيود على الشـروط الابتدائية. لقد بدأ كوننا بتمدد سريـع – الانفجار الأعظم – لذا فقد حـاولنا هيـدريك وأنا فى بحثنا سنة ١٩٩٤ أن نبرهن على أنه ليس من المستحب أن نفرط فى وضـع القـيود على الشـروط الابتـدائية. وكان جزءا من محـاولتنا للبرهنة أن المرء لا يسـتطيع – فى العـالم المسطح – أن يجـمع مـا بين الدوران (والقـفـزات الفجائية فى السرعة) التى تجلبها الكتل الدوارة، بكمية حركة. فـهذه الدورانات لا تضاف رياضيا كما هو المفترض فى حالة كمية الحركة، ولأن الزمكانات ذات الأبعاد الكبيرة ليست مسطـحة بالتقريب فإن تعريف كمية الحركة غير ممكن لها على أية حال ، وعلاوة على ذلك فإن مماثلة كمية الحركة لا يمكن ترجمتها فى الزمكانات ذات الأربعة أبعاد.

٨ – "القوى المدية": إن إشعـا ع هوكنج عملية كمومية تتسبب فى "تبخر" الثقب الأسود فى النهاية (فى خلال ٤ × ١٠ ٩٤ سنة بالنسبة لثقب أسود كتلته تساوى ٣ بليون مرة كتلة شمسنا). ويزيد هذا الإشعـا ع المسألة تعقيدا، حيث يغير من البنية الهندسية ويحد من دخول الفوتونات التى تصل متأخرة.

٩ – "وكما قال كيب ثورن": المرجع ك.س.ثورن الثقوب السوداء وانفتالات الزمان (نيويورك: ثورتون ١٩٩٤) صفحة ٤٧٩.

١٠ - "ولكن النقاش برهن على وجود مخرج": إن حلى عن طريق الأوتار الكونية، بوترين كونيين بطول لا نهائى يتحاشى مبرهنة تبلر، لأن أفق كوشى لها يمتد إلى ما لا نهاية وبالتالى لا وجود لمفردات عليه. ومن المثير للفضول أن حل الثقب الأسود الدوار غير المضطرب يتجنب مبرهنة تبلر هو الآخر. وحيث إن حل الثقب الأسود هذا يستمر للأبد، فكذلك يفعل أفق كوشى رغم أنه يلتوى ويعقص داخل نطاق محدد، ولا تكون به مفردات. صحيح أن هناك مفردة حلقية، ولكنها تظهر فيما بعد، ويراها المسافر عبر الزمن مرة واحدة عند عبوره أفق كوشى. ومرة أخرى ربما تصرعه الجسيمات المنبعثة دون أن يمكن التنبؤ بها من المفردة الحلقية ولكن فلنتذكر مرة أخرى أيضا الانفجار الأعظم، ربما لا تصرعه. إذا تبخر الثقب الأسود عن طريق إشعاع هوكنج كما نتوقع، فإنه لن يستمر للأبد وربما تظهر مفردة على أفق كوشى.

١١ - "السفر بين النجوم": كانت لإنتربرايز مهمة مدتها ٥ سنوات لتستكشف فيها منظومة نجمية جديدة كل أسبوع (حسب الزمن الذى تبينه الساعات التى على متن المركبة) وذلك - ببساطة - بالانتقال بسرعة تعادل ٩٩,٩٩٩٪ من سرعة الضوء، وذلك بافتراض مسافة ٤ سنوات ضوئية تفصل بين النجوم. سيتقدم العمر بطاقم المركبة ببطء نظرا لانتقالهم بسرعة تقارب سرعة الضوء. ولكن بعد انقضاء خمس سنوات طبقا لتوقيت الطاقم سيجدون عند عودتهم إلى المقر الرئيسى لأسطولهم للسفر بين النجوم أن قد مر أكثرمن ١٠٠٠ عام وفقا لتوقيت الناس هناك. لكى يعودوا إلى المقر الرئيسى خلال ٥ سنوات بعد زيارة منظومات نجمية متعددة توجب عليهم أن ينتقلوا بأسرع من سرعة الضوء.

١٢ - "تصور أن نملة تعيش": استخدم كيب ثورن استعارة أدبية إذ وصف زحف النمل فوق لوح مطاطى لكى يشرح طبيعة الثقوب السوداء فى مجلة Scientific American 217 العدد ٥ لعام ١٩٦٧ صفحة ٩٦، وفى كتابه الثقوب السوداء وانفتال الزمن صفحة ٢٤٧.

١٣ – "كيف أمكن تصميم طريقين مختصرين يحققان قوة الدفع بالفتل": لو أمكنك خلق ممر للدفع بالانفتال يسمح لمركبة فضاء بالذهاب إلى ألفا قنطورس خلال دقائق معدودة، فإن رحلتك حينئذ ستصل بين حدثين يفصل بينهما فاصل مكانى فى الفضاء أكثر من الفاصل الزمانى. وبذلك، وكما فى حالة الوتر الكونى فإن راصدا على متن مركبة صاروخية تتحرك بسرعة معينة سيشاهد مغادرتك الأرض ووصولك إلى الفا قنطورس كحدثين آنيين متزامنين. إن الزمكان خارج المسار الضيق (الشق) الذى تتخذه المركبة النجمية لن ينتابه اضطراب. إذا رآك راصد الصاروخ تغادر الأرض وقت الظهيرة وتصل إلى ألفا قنطورس أيضا عند الظهيرة من نفس اليوم، فبإمكانك أن تنجز دفعا بالانفتال للمرة الثانية – شقا ثانيا – بالذهاب من ألفا قنطورس إلى الأرض مما يتيح لك مغادرة ألفا قنطورس فى الظهيرة والعودة للأرض أيضا فى الظهيرة طبقا لتصوره. بوسعك عند ذلك العودة ومصافحة (نفسك) وأنت تتأهب للمغادرة.

١٤ – "استحالة التحرك بسرعة تفوق سرعة الضوء": لعلك سمعت بقصة تداولتها وسائل الإعلام عن شخص قد سبق شعاعا ضوئيا فى مختبر. تتضمن مثل هذه المحاولات فى المعتاد السلوك النفقى الكمومى. إذا جلست إلى جانب جدار، فهناك احتمال ضئيل أن تجد نفسك فى الجانب الآخر من الجدار خلال نفق عبرته فجأة. لو أنجزت هذا الاختراق النفقى لوصلت إلى الجانب الآخر من الجدار بجدارة بأسرع من سرعة الضوء، إذ يمكنك أن تسبق شعاعا ضوئيا يسلك مسارا موازيا. وعلى سبيل المثال، أجرى رايموند كياو من جامعة كاليفورنيا ببركلى بمختبره سباقا بين فوتونات انتقلت عبر مسار مستقيم إلى كشاف (Detector)، وأخرى سلكت سلوكا نفقيا خلال لوح معتم من الزجاج سمكه بضعة أجزاء من واحد على مائة ألف جزء من البوصة. وقد سبقت الفوتونات التى سلكت النفق الطائفة الأخرى من الفوتونات بفارق زمنى قدره $١,٥ \times ١٠^{-١٥}$ ثانية. على أن ثمة مشكلة: عندما تنبعث الفوتونات فى سباق فى المختبر، فإنها تكون ضمن حزمة موجية ذات طول محدد. تخيل مجموعتين

من العدائين يركضون بسرعة الضوء ، وضمن كل مجموعة هناك من هو متقدم ومن هو متأخر قليلا. إحدى المجموعتين تجرى مباشرة فى حين تصطدم المجموعة الأخرى. بجدار وينفذ من خلاله عدد ضئيل منها، مكونين مجموعة تصل – فى المتوسط – متقدمة على العدائين الراكضين إلى الأمام مباشرة. على أن الطرفين المتقدمين من كلا المجموعتين من العدائين وصلا معا. فلا يمكنك هنا أن تقول إنك – فى خاتمة المطاف – قد سبقت الشعاع الضوئى. ولما كان تقوس الزمكان يتيح للمرء أن يسبق شعاعا ضوئيا بسهولة وبفارق محسوس (فى حالة الانحناء بالجاذبية الشبيه بانكسار الأشعة بالعدسات Gravitational Lensing بالنسبة لشبه النجم ۰۹٥۷، يسبق شعاع ضوئى شعاعا آخر بمدة ٤١٧ يوما) فإن استخدام انحناء الزمكان للسفر عبر الزمان إلى الماضى يبدو مبشرا أكثر من محاولة السلوك النفقى الكمومى، دون أن نذكر شيئا عن المرات العديدة التى تواجه فيها مشكلة الفشل فى تحقيق ذلك السلوك النفقى.

١٥ – "فالتاكيون يصاحبه موجات جاذبية": هذه الموجات المصاحبة للتاكيون تسمى إشعاع تشيرينكوف الجذبوى Gravitational Cherenkov Radiation.

١٦ – ولهذا لا يمكن استعمال التاكيونات فى إرسال طاقة": ذات مرة فى عام ١٩٧٣، وفى أثناء مناقشة لى مع ريتشارد فيينمان عن التاكيونات فى كالتك قال إنه يشك فى إمكانية اكتشافها يوما ما.

الباب الرابع : السفر عبر الزمن ونشأة الكون

١ - "وبعدها يصعد الرفاق إلى أعلى حيث يشربون "البورت"": في أثناء واحدة من هذه المناقشات التي تناولت مذنب "هالي" وكيف يعود كل ثلاثة أرباع قرن تقريبا، ذكر السيد / نيكولاس - وهو زميل قديم كان يبلغ وقتها سبعة وثمانين عاما - أنه شخصيا شاهد الظهور السابق للمذنب عام ١٩١٠، وليس ذلك فقط، بل لقد أضاف أنه وقتها - وهو بعد في مقتبل العمر - تحدث إلى زميل أقدم في ترينيتي كان قد رأى هو الآخر عودة المذنب الأسبق من ذلك عام ١٨٣٥ عاش نيكولاس ليمتع رفقاءه بحكاياته حتى في عيد ميلاده المئوي. وفي ذلك اليوم أيضا صعد الدرج إلى أعلى ليعد عينات شراب (البورت).

٢ - "بيد أن فراغ كازيمير - على الأقل - بث الأمل في إمكانية حدوث ذلك": في هذا النوع من الثقوب الدودية (بلوحات كازيمير مشحونة كهربيا) سيهرم رائد الفضاء في وسط النفق بمعدل أبطأ مما لدى فوهتي الثقب الدودي لأنه - مثل المسافر عبر الزمن (وهو مستقر ببيته) - سيكون في قاع بئر جذبوية عميقة. ستبقى الفوهتان ساكنتين بالنسبة لبعضهما - في نظر رائد الفضاء كما سيكون للبئر نفس العمق على الجانبين ، ومن ثم فسيرى الساعتين عند الفوهتين تدقان بنفس المعدل ولهما نفس التوقيت. حرك فوهة في رحلة دائرية قرب الأرض بحيث تدق بمعدل أبطأ بالنسبة لسكان الأرض في حين اترك الفوهة الأخرى ثابتة عند ألفا قنطورس. إن الساعتين لدى الفوهتين والمتزامنتين كما تريان خلال النفق ستصلان أزمنة مختلفة على الأرض وألفا قنطورس في الزمكان الخارجي ، تماما كما بحثنا في الباب الثالث ، فيما عدا أن رائد الفضاء هنا والموجود داخل النفق أصغر سنا من المتوقع بتأثير الآبار الجذبوية.

٣ - "وهذا هو ما يتواجد داخل الوتر الكونى": هناك فراغ طبيعى خارج الوتر الكونى؛ ولكن تنحصر داخله حالة فراغ عالى الطاقة .. قد تظهر كأحد نواتج اضمحلال حالة الفراغ الانتفاخى التى كانت فى الأصل تتخلل الفضاء بأكمله. فالأوتار يمكن اعتبارها بمثابة بقايا حفريات تخلفت من زمن باكر (وكأنها تمثال رجل ثلجى تبقى بعد ذوبان الجليد فى المناطق الخضراء).

٤ - "فمباراة كرة القدم ستنتهى فى كل مرة بنفس النتيجة": فى جولته التخيلية "أحلام أينشتاين" يعتبر آلان لا يتمان زمكانا من نوع "يوم الجرذ الجبلى Groundhog Day"، السكان فيه من الجان Jinn تذرع خطوط عالمهم الزمكان باستمرار. يتكرر حصول الأحداث لهذا الجان، مما يخلق لدى بعضهم حاسة خارقة غير عادية على استقراء الماضى. وبشكل أكثر تحديدا فإن العرض السينمائى يوم الجرذ الجبلى يزور زمكان هذا اليوم فى عالم الصور المتعددة لميكانيكا الكم ففى كل مرة كان يعود فيها بطل الفيلم إلى الماضى، كان يمكنه اتخاذ قرارات مختلفة عن كيفية قضائه لهذا اليوم.

٥ - "الفراغ الطبيعى الملتف فى فراغ ميسنر": ذكرتنى حسابات هيسكوك وكونكوفسكى للفراغ الطبيعى فى فضاء ميسنر بحالة الثقب الأسود التى يتعاظم فيها فراغ بولوير (Boulware Vacuum (انظر الملحوظة التالية الخاصة بتعريفه) مع الاقتراب من أفق الحدث. عولجت هذه المشكلة بإدخال إشعاع هوكنج. لقد فكرت فى إمكانية علاج مماثل بإشعاع هوكنج لحالة الانفلات والتعاظم الحادثة عند الاقتراب من أفق كوشى فى حالة آلة الزمن. وحيث إن لى - تشين - لى قد وجد أن كثافة طاقة الفراغ فى نطاق السفر عبر الزمن من فراغ ميسنر كانت موجبة - وهو ما يتفق مع بحوث هيسكوك وكونكوفسكى - فيبدو ذلك كما لو لم يكن بإمكان المرء أن يحبط أو يستبق تعاظمها وانفلاتها لدى اقترابها من أفق كوشى، كما كان الحال بإضافة إشعاع هوكنج فى حالة الثقب الأسود.

٦ – "حالة الفراغ المقيسة بواسطة راصد متحرك بتسارع": إذا تحرك رائد فضاء فى صاروخ منطلق ما بين النجوم بتسارع يعادل ١ د أى بعجلة تساوى عجلة الجاذبية المعهودة عند سطح الأرض، فإنه سيرى إشعاع أو نروه (الفوتونات) ولها طول موجى يساوى سنة ضوئية، وسيرى فراغ ريندلر فى إثره، وسالبيته تتعاظم حتى تنفلت إلى حالة لا نهائية من السالبية خلف مركبته بمسافة سنة ضوئية. ولا بأس من ذلك ، حيث إنه وفى نفس الموضع سيلمس قدرا لا نهائيا من إشعاع أونروه ذى كثافة طاقة موجبة ولا نهائية. وكل من هذين المقدارين اللانهائيين سيلغى كل منهما الآخر، مخلفين كثافة طاقة محصلة مقدارها صفر – أى فراغا معتادا ، ويناظر هذا وصول رصيدك فى البنك وديونك كليهما إلى اللانهاية ، فأنت تظل فى هذه الحالة مفلسا. إذا لم يحس الراصد المتحرك بتسارع أى إشعاع فمعنى هذا أنه يحيا فى عالم من فراغ ريندلر الصرف دون أى إشعاع حرارى. سيكون لمثل هذا العالم كثافة طاقة كلية سالبة قد تتعاظم (أى تغدو سالبة لما لا نهاية) على مسافة سنة ضوئية خلف صاروخه. تتسبب كثافة الطاقة السالبة فى انحناء الزمكان بناء على النسبية العامة، كما تتسبب كثافة الطاقة السالبة اللا نهائية فى تكون مفردة فى انحناء الزمكان. ويحسب فراغ ريندلر بافتراض زمكان مسطح فى شكله الهندسى. إذا تعاظم وتغير شكله الهندسى فلا يظل الترابط الذاتى للحسابات قائما. وعلى ذلك فإن فراغ ريندلر الصرف فى زمكان مسطح لا يصحبه أى إشعاع ، لا يمثل حالة فراغ مترابطة ذاتيا. كذلك تحسب حالة الفراغ الطبيعى أيضا باعتبار بنية هندسية مسطحة للزمكان، غير أن له كثافة طاقة كلية صفرية، وضغطا كليا يساوى الصفر، وهكذا طبقا لمعادلات أينشتاين للنسبية العامة فإنها تنتج زمكانا ذا شكل هندسى مسطح. وبالتالى فالفراغ الطبيعى فى الزمكان المسطح مترابط ذاتيا. إننا دائما ما نبحث عن مثل هذه الحلول. فإذا ما أعطينا خلفية عن شكل هندسى، وكان لنا الخيار بين حالات الفارغ الكمى ، فلابد وأن ننتقى تلك الحالة المترابطة ذاتيا والتى تنتج البنية الهندسية التى يدوم بقاؤها فيها.

وقد وجد الفيزيائى دافيد بولوير حالة فراغ لزمكان منحن خارج نجم نيوترونى بارد (يسمى حاليا فراغ بولوير) حيث لا يشاهد الراصدون الخارجيون عنه أى إشعاع، وله كثافة طاقة سالبة قليلة وذات قيمة محددة حتى عند سطح النجم النيوترونى ، وهذه القيمة لا تبلغ الحد الكافى لكى تخلق اضطرابا فى الشكل الهندسى وبالتالى تصلح هذه الحالة كحل. ولكن .. هل يصح تواجد فراغ بولوير حول ثقب أسود؟ إذا تواجد فراغ بولوير حول ثقب أسود، فلن يشاهد الراصدون خارجه أى إشعاع. ولسوء الحظ ، فإن كثافة طاقته تزداد سالبيتها بالاقتراب من أفق الحدث ، حتى تنفلت سالبيتها إلى المالانهاية لدى الأفق ذاته. ولما كان من شأن ذلك أن يغير الشكل الهندسى فى الخلفية تغييرا محسوسا ، فليس هذا بالحل المترابط ذاتيا بالنسبة للثقب الأسود. وعلى كل حال فقد اكتشف ستيفن هوكنج وزميله جيمس هارتل وجود حالة فراغ أخرى للشكل الهندسى حول الثقب الأسود (سميت بفراغ هارتل – هوكنج). ولهذه الحالة من الفراغ كثافة طاقة محدودة وضئيلة عند أفق حدث الثقب الأسود، ولا تنفلت قيمتها هناك. وحيث إنها لا تشوش البنية الهندسية بقدر ملموس ، فيمكن اعتبارها حلا مترابطا ذاتيا. ومثلما يبدو الفراغ الطبيعى بالنسبة لراصدين يتحركون بتسارع كمحصلة لفراغ ريندلر مضافا إليه الإشعاع الحرارى ، يبدو فراغ هارتل هوكنج للراصدين المتحركين بتسارع مثل محصلة لفراغ بولوير مضافا إليه الإشعاع الحرارى. لذا ، إذا أشعل الراصدون المتحركون بتسارع وقود صورايخهم ، متجولين فوق الثقب خارج أفق الحدث وعلى بعد ثابت ، فإنهم سيرصدون إشعاعا حراريا ، هو إشعاع هوكنج. والجزء من إشعاع هوكنج الذى يحدث أن يتجه قطريا إلى الخارج سينزاح انزياحا عظيما ناحية الطرف الأحمر من الطيف لدى تسلقه خارجا من بئر جاذبية الثقب الأسود ، وسيمكن للراصدين بالخارج مشاهدته من على مسافات بعيدة. ستتسبب كثافة الطاقة ذات القيمة الضئيلة السالبة لحالة فراغ هارتل–هوكنج ، ستتسبب فى رد فعل عكسى بطىء ، يفضى إلى فقدان الثقب الأسود لكتلته ببطء ، حتى (يتبخر) فى خاتمة المطاف ويتلاشى. إن طاقة إشعاع هوكنج التى يراها الراصدون من الخارج تأتى فى النهاية من الطاقة التى يفقدها الثقب مع تناقص

كتلته (قانون بقاء الطاقة). وإشعاع هوكنج المنبعث من الثقوب السوداء التى لها سبعة أمثال كتلة شمسنا أو تزيد ، إشعاع خافت ، خارج نطاق قدرتنا على الإحساس به فى الوقت الراهن. ولدى الفيزيائيين بعض التشكك حول انبعاث هذا الإشعاع.

٧ - "فراغ ريندلر الملتف هذا": لم يكن فراغ هيسكوك وكونكوفسكى (وهو فراغ طبيعى متلفف) مترابطا ذاتيا. فهو لم يفرز نفس الشكل الهندسى الذى ابتدأ به، بل كان فراغ ريندلر المتلفف (الذى طرحه لى - تشين - لى) هو الفراغ الصحيح والمترابط ذاتيا فى حيز ميسنر حينما يتقارب الجداران بسرعة ٩٩,٩٩٩٣٪ من سرعة الضوء، تماما مثلما كان فراغ هارتل - هوكنج صحيحا بالنسبة للثقب الأسود.

لو ظل المرء متشككا إزاء ما هو موجود داخل الثقوب السوداء (مثلما تشكك هوكنج إزاء وجود آلات الزمن) فربما نظر إلى فراغ بولوير باعتباره حالة الفراغ الصحيحة بالنسبة للثقوب السوداء. وفى النهاية فهذه الحالة من الفراغ لم تفرز أى إشعاع ، وكان الجميع - أصلا - يعتقدون أن الثقوب السوداء لا تطلق أى إشعاع (ومن هنا جاءت تسميتها بالسوداء). ولكن فراغ بولوير يتعاظم وينفلت إلى قيمة سالبة لا نهائية عند اقتراب المرء من أفق الحدث للثقب الأسود ، مبدلا من البنية الهندسية ومتسببا فى انهيار جدوى الحل قبل التمكن من الدخول فى الثقب الأسود. ربما أولنا هذا على أنه ينهض دليلا على صحة "حدسية حماية الزمان لنفسه" والتى تفترض أن ظواهر الفراغ الكمومى تتآزر (تتآمر) كى تمنع المرء من ولوج أفق حدث الثقب الأسود. ويؤمن هوكنج بطبيعة الحال بالثقوب السوداء وبإمكانية الولوج داخل واحد منها. لقد عثر على الحل الصحيح: فراغ هارتل - هوكنج.

٨ - "سيكون المحرر الأول للمقال هو لى - تشين - لى": تناقش هذه الورقة البحثية الفراغ المترابط ذاتيا فى فراغ ميسنر، وحدسية حماية الزمن لنفسه وأيضا الصعوبات التى سيصادفها المسافر عبر الزمان، وكيف يتجنب الاصطدام والتشوش والاضطرابات الناجمة عن حقيقة أن المجال الجذبوى سوف يتلفف هو الآخر حول الزمكان. ويمكن التغلب على هذه المشاكل - على أية حال - إذا (أبحر) المسافر عبر

الزمان بطريقة صحيحة وأخذ معه بعضا من تلك المواد المدهشة ذات كثافة الطاقة السالبة، بحيث تصبح الكتلة الإجمالية لمركبته الفضائية صفرا. عندئذ يمكنه تجنب أى تشوش أو اضطراب فى حله. (بالمثل أمكننا - بالنسبة لمسافر عبر الزمن، يدور حول أوتارى الكونية ذات الطول اللانهائى - أن نوضح بالاستعانة ببعض النتائج الحسابية لـ ج.د.أ.جرانت، أن المجال الجذبوى بالنسبة لمركبة فضاء ذات كتلة موجبة تدور حول الأوتار سيفضى فى النهاية إلى تكون ثقب أسود) وهو أمر يحدث فى الوقت الراهن فى حالة العروة المحدودة.

٩ - "بحثنا عن فراغ ميسنر": تواصل البحث العلمى ، بعد أن نشرت أوراقنا البحثية عن فراغ ميسنر، وعن السفر عبر الزمن فى الكون المبكر. اكتشف لى - تشين- لى - نهجا متطورا ومعدلا لتناول فراغ ميسنر. فى كل وقت أجريت فيه الحسابات الكمومية كان المرء يحصل على إجابات غير محدودة تحتاج هى الأخرى إلى تعديل كى تعطى الإجابات التى تطابق الأرصاد الفعلية، وذلك بحذف الإجابة غير المحدودة من حالة فراغ معروف أن طاقته وضغطه يساويان صفرا. وبالنسبة لحلول السفر عبر الزمن هناك تكنيكان مستخدمان: طريقة المقطع الإقليدية التى ابتكرها هوكنج وطريقة الحيز المغطى.

فى الطريقة الأولى تحل المسألة بمعاملة كل الأبعاد باعتبارها مكانية السمة وفى الثانية يعامل المسافرون عبر الزمان إلى الماضى فعليا باعتبارهم نسخا مطابقة من الشخوص الأصليين. وينبغى أن يؤدى كلا التكنيكين إلى نفس النتائج وإلى تجنب الأسئلة عن كيف تجرى حسابات ميكانيكا الكم فى وجود منحنيات مغلقة زمانية السمة. وقد عالجنا المسألة فى بحثنا عن فراغ ميسنر باستخدام طريقة الفضاء الحاجب وتحققنا منها بمقارنتها بطريقة المقطع الإقليدية للتأكد من صحة النتائج، ولقد تحققنا من صحتها فعلا. وضح لى- تشين- لى فى بحث تال نشره فى الـ فيزيكال ريفيو عام ١٩٩٩ (٠٨٤٠١٦) الحاجة إلى النهج المتطور المعدل عند اتباع طريقة الفضاء الساتر وبهذه الخطوات الجديدة تفضى طريقة المقطع الإقليدية، وطريقة

الفضاء الحاجب إلى نفس النتائج فى الحالة العامة. أتاح هذا لـ لى- تشين- لى أن يبين أن نتائجنا الأصلية (نتائج فراغ ريندلر المتلفف والمترابط ذاتيا والمنعدم كثافة الطاقة والمنعدم الضغط فى حيز ميسنر الذى يتقارب فيه الجدران بسرعة ٩٩,٩٩٩٣٪ من سرعة الضوء) يمكن تعميمها من مجال لا اتجاهى غير قابل للتغير (سبق تحليله) بحيث تشمل مجالات أخرى مثل المجال الكهرومغناطيسى.

وقد حسب هيسكوك - فيما بعد - كثافة الطاقة المعدلة لهذه الحالة، باستخدام منهج التعديل القديم المحتوى على مجالات لا اتجاهية تؤثر فى بعضها البعض مثل تلك التى تقابلنا فى الانتفاخ (التضخم) ، ووجد هيسكوك أن انفلاتا سيحدث. وقد أعدنا - لى - تشين - لى - وأنا - هذه الحسابات، بتطبيق منهج لى - تشين - لى المعدل الجديد، ووجدنا أن المجالات اللااتجاهية ذات التأثير المتبادل فيما بينها أعطت كثافة طاقة وضغطا منعدمين كما توقعنا. لم تكن نتائجنا فيما يخص مراحل الكون المبكرة ، بما فى ذلك حسابات درجة الحرارة والانتروبيا ، تتأثر بتطبيق هذا النهج المعدل الجديد. وفى نظرية الأوتار الفائقة Superstring Theory يتم التعديل بصورة مختلفة، ولكن هناك لكل جسيم شريكا يماثله مماثلة فائقة. وفى ظروف الطاقة العالية كتلك التى سادت فى المراحل المبكرة للكون فإن التأثيرات الكمومية لكل زوج من الجسيمات وتأثيرات شركائها المماثلين تلاشى بعضها البعض مما يمنع التعاظم والانفلات الكمومى على أية حال. ومما لا شك فيه أن الدراسات فى هذا الاتجاه ستستمر وتتعاقب.

١٠ - "هذا لا يمثل أى تناقض": يتحرك الضوء حول فضاء دى سيتر بسرعة الضوء بطبيعة الحال، ولكن عندما يشرع الفضاء نفسه فى التمدد بنفس هذه السرعة تقريبا ، يبدأ الضوء فى صنع تقدم زاو أقل فأقل حول المحيط. وخطوط عالم الإشارات الضوئية فى الرسم التخطيطى لزمكان دى سيتر هى خطوط مستقيمة مائلة بزاوية ٤٥ درجة على الرأسى (وهى تنتقل أفقيا مسافة سنة ضوئية مكانيا، مقابل كل سنة زمانية فى الاتجاه إلى أعلى). وتقع هذه الخطوط فى السطح المنحنى الشبيه فى

شكله بالساعة الرملية. وفى الحقيقة بوسعك إنشاء مثل هذا السطح إذا أخذت طوقين من أطواق رقصة الهولا - هولا ووصلتهما بدستة من قطع الخيوط الطويلة قليلا متصلة عند النقاط المناظرة لتصنع شكلا شبيها بالطبل. والآن أدر الطوق العلوى حتى تميل كل الخيوط بزاوية ٤٥ درجة. ستحصل على شكل الساعة الرملية ذات اختناق (أو خصر) ضيق من الخيوط. إن شعاعا من الضوء ينبعث من هذا الخصر سيتقدم بزاوية ٩٠ درجة فقط حول المحيط فى زمن متناه فى الامتداد وستكبر الدائرة التى تمثل المحيط فى نهاية الأمر إلى حيز لا نهائى. وعلى ذلك فحتى مع زمن لا متناه، لن يستطيع الضوء أن يذرع كل المسار حولها. لو افترضنا شخصين يعيشان عند القطبين المتقابلين من زمكان دى سيتر، فإنهما لن يستطيعا تبادل الرسائل بالراديو. وفى الحقيقة ، سيجد أى راصدين ينتقلان عبر خطوط جيوديسية نفسيهما فى نهاية الأمر منجرفين بعيدا عن بعضيهما بسرعة متزايدة كلما تمدد الفضاء فيما بينهما. وفى الختام، عندما تشير ساعتاهما إلى تباعدهما بسرعة تربو على سرعة الضوء، سيفقدان الاتصال فيما بينهما. ولن تلحق إشارة ضوئية أرسلها الأول على الإطلاق بزميله. إن الزميل يتحرك بسرعة تقل عن سرعة الضوء، ولكنه متقدم منذ البداية وسابق للإشارة، فرغم أن شعاع الضوء أسرع فى انتقاله إلا أن الزميل يداوم على زيادة سرعته هو مقتربا شيئا فشيئا من سرعة الضوء، ومحتفظًا بتقدمه بحيث لا يلحق به الضوء على الإطلاق. وهكذا إذا عشت فى زمكان دى سيتر، فستفقد اتصالك بأصدقائك دوما. إذا كان صديقك (فريد) يعيش على مسافة منك ، فسترى انزياحا نحو الأحمر للإشعاع الذى تتلقاه منه حال تحركه مبتعدا عنك. وفى النهاية عندما تأخذ المسافة بينكما فى التزايد بسرعة تساوى سرعة الضوء (كما تقيسها ساعتاكما) سيزداد هذا الانزياح صوب الأحمر إلى ما لا نهاية، وستأتى رسالته بالراديو لك آخذة فى التباطؤ: إذا تصورنا تدرج وصول حروف هذه الجملة طبقا لزمن وصولها فستبدو كما يلى:

و ، وآخر جملة تتلقاها سوف تستغرق – لكى تصلك – ما لا نهاية له من الوقت، والجملة التى يرسلها بعد ذلك لن تصلك أبدا، وستبقى هذه الإشارة إلى الأبد معلقة متنقلة بينك وبينه دون أن تصل، وسيبدو لك الأمر كما لو كان (فريد) قد ابتلعه ثقب أسود.

١١ – "ويمكن أن تكون الحقبة الانتفاخية قد غذت الطفرة": طرح الفيزيائى لى سمو لين من ولاية بن والفيزيائى الروسى فاليرى فرولوف وزملاؤه م.أ.ماركوف وفيتشيسلاف ميخانوف أنه فى أى وقت يتطور فيه انهيار جذبوى نحو تكون مفردة، كما فى حالة الثقب الأسود، وفى اللحظة الأخيرة ، ومع ارتفاع درجة الحرارة يدخل المرء فى حالة فراغ انتفاخى ويتعرض (لطفرة) دى سيتر لكى يكون كونا انتفاخيا جديدا. وهكذا يمكن أن يتفرع من كوننا أكوان انتفاخية جديدة كما تتفرع الأغصان من جذع شجرة.

١٢ – "لا يمكنك أن تبدأ من عدم": إذا وضعت قطعة صغيرة من فراغ انتفاخى فى صندوق وتمدد هذا الصندوق إلى حجم أكبر، فعليك أن تنفق طاقة كى تحرك الجدران إلى الخارج، لأن الضغط السالب بالفراغ الانتفاخى (الشفط) سيجذب الجدران نحو الداخل، وستكون فى حاجة إلى التغلب على ذلك. وفى النهاية سيكون لديك صندوق أكبر حجما (ملئ) بفراغ انتفاخى ، وسيكون به نفس كثافة الطاقة التى كانت، ولكن بحكم كونه أكبر حجما فستكون الطاقة الإجمالية أكبر. وينبغى أن تتساوى الطاقة المضافة مع الطاقة التى أنفقتها فى تحريك جدران الصندوق إلى الخارج، وفى النسبية العامة تحتفظ الطاقة الموضعية بقيمتها فى الحيز الصغير لدى تمدده كما هو متوقع. ولكن فى الحل الشامل، ولأن المكان والزمان ينحنيان، لا يظل محتوى الطاقة الإجمالى داخل الكون محتفظا به دون تغيير، فليس هناك مكان مسطح يمكنك أن تقف عليه وتضع معايير للطاقة، وهذه خاصية مهمة وغير مألوفة فى النسبية العامة. تخيل الكون المنتفخ مقسما إلى العديد من الصناديق الصغيرة. فى داخل كل

صندوق سيلاحظ كل راصد أن مجمل الطاقة فى صندوقه سيرتفع بتمدد الصندوق، وسيرجع هذا إلى أن أحدا يجذب جوانب صندوقه إلى الخارج، وفى الواقع فإن ما يجذب جوانب الصندوق هو تأثير الصناديق المجاورة التى تكبر هى الأخرى. لذا ففى هذه الحالة سيتزايد إجمالى الطاقة المحتواه داخل الكون بأكمله مع الوقت بازدياد حجم الكون.

١٣ - "يوضح القطع الزائد سطح الزمكان": لماذا كان لسطح القطع الزائد انحناء سالب؟ بين عالم الرياضيات الألمانى اللامع جوهان كارل فردريك جاوس أن الكرة التى تقع جميع نقاط سطحها على نفس البعد من نقطة فى الفراغ - هى مركزها - لها انحناء موجب. وتعتمد درجة الانحناء على حجم (نصف قطر) الكرة. فالكرة الصغيرة (كبذرة الخردل) محدبة بشدة، والكرة الأكبر (ككرة الشاطئ) انحناؤها أقل، فى حين أن انحناء كرة هائلة كالأرض يقل بحيث تبدو لنا كالمسطحة. ووجد جاوس أن الانحناء يتناسب عكسيا مع مربع نصف قطر الكرة. ونصف القطر هذا هو المسافة فى الفراغ بين أية نقطة على سطح الكرة ومركزها. وعلى النقيض فلسطح القطع الزائد انحناء سالب (تقعر) كما فى مثالنا؛ لأنه يمثل مجموعة من الأحداث على بعد متساو فى الزمن، مقيسا بالصواريخ من حدث ما. وكما ناقشنا فيما سبق يتفق الراصدون فى النسبية الخاصة على مربع المسافة المكانية مطروح منه مربع المسافة الزمانية، وهذه الإشارة السالبة التى تسبق حد مربع المسافة الزمنية هى التى تجعل لسطح القطع الزائد انحناء سالبا.

١٤ - "لم يكن مفهوم الفقاعات هو المشكلة، ولكنه كان الحل": لكى ينجح نموذجى فى التطبيق فإن حالة الفراغ ذى الكثافة العالية فى حاجة إلى بقائها داخل الفقاعة لبرهة ما بعد تكون الفقاعة وقبل اضمحلالها إلى إشعاع حرارى. ويتيح هذا للكون أن ينتفخ إلى حجم كبير كبرا كافيا بحيث يتفق مع الأرصاد. احتجت إلى أن يستمر الانتفاخ فى داخل الفقاعة (إلى أن تخرج تلك الساعات المنبهة فى شكل ٢٢ - فى الواحدة ظهرا) لمدة تصل على الأقل إلى مائة ضعف الزمن الذى تحتاجه خارج

فضاء دى سيتر ليتضاعف حجمها بالنسبة للراصدين هناك. ومن شأن ذلك أن يخلف كونا ذا انحناء سالب ملحوظ. إذا ترك الانتفاخ مستمرا داخل الفقاعة لمدة أطول - ولنقل إلى ١٠ أضعاف - فسيظل الكون على انحنائه السالب ولكن مع انتفاخه إلى حد أكبر يقل الانحناء بحيث يصعب تمييزه - اليوم - عن مسطح غير ذى انحناء.

١٥ - "مربعات المسافات": فى النطاق الأسود حيث السلوك النفقى، يوجد المرء داخل النفق وبالتالى تحت الأرض فى تحليلنا للتشابه من حيث التضاريس(مجازا). هذا الوجود تحت الأرض يحول الإشارة السالبة الموجودة قبل البعد الزمنى إلى إشارة موجبة (يمكننا أن نكتب: (د ف)^{٢} = + (د ز)^{٢} + (د س)^{٢} + (د ص)^{٢} + (د ع)^{٢} فى كل المناطق المجاورة). وبالتالى يصبح البعد الزمنى بعدا مكانيا كالأبعاد الثلاثة الأخرى بحيث يصبح لدينا أربعة أبعاد مكانية فى الثقب الأسود.

١٦ - "الانتفاخ الفوضوى (التشوشى)": حتى نستوعب آلية الانتفاخ الفوضوى كما طرحه ليندى فلنستعد تشبيهنا لكرة البولنج التى تتدحرج على أرض ذات تضاريس مختلفة، فيناظر الارتفاع الرأسى الأعلى كثافة طاقة فراغ أعلى وانتفاخا أسرع. ابدأ بكرة البولنج وهى فوق السهل الساحلى. هناك احتمال ضئيل أن تقفز فى طفرة كمومية إلى أعلى نحو الجبال. بمجرد وصولها هناك سيحدث انتفاخ سريع وتتمدد المنطقة إلى حيز ضخم مفرخة كونا انتفاخيا وليدا. ستفقد قطع صغيرة من هذه المنطقة الاتصال ببعضها البعض مع انتفاخ الكون ، وتبدأ فى السلوك سلوكا مستقلا شأنها شأن الكثير من كرات البولنج الأخرى، التى سيتدحرج معظمها إلى أسفل الجبل، على أن واحدة من هذه الأجزاء (كرات البولنج) - من وقت إلى آخر - ستثب فى طفرة كمومية إلى ارتفاع أعلى فى الجبال، حيث تتمدد بسرعة أعلى حتى من كل الأخريات. ويخلق هذا كونا وليدا من الجيل الثانى سرعان ما يتجاوز حجمه كل الآخرين نتيجة تمدده بمعدل أسرع. تكرر هذه العملية نفسها ، وبسرعة يتحول معظم الكون إلى قطع صارت فى موضع أعلى وأعلى فى الجبال ، مع استمرار حدوث الانتفاخ بصورة كبيرة بكثافة بلانك (٥ × ١٠ ^{٩٣} جرام لكل سنتيمتر مكعب). وتستمر

هذه القطع فى تفريخ الأكوان الوليدة، معمرة الجبال بالعديد والعديد من كرات البولنج التى تداوم على التدحرج إلى أسفل (وعلى الوثب من وقت إلى آخر فى طفرة كمومية إلى أعلى، مفرخة من جديد كرات بولنج أكثر) وفيما تتدحرج كرات البولنج المنفردة، قد تتدحرج بعضها إلى وديان فى داخل الجبال تصبح محاصرة فيها. وقد تنجح فى اختراق جوانب الوادى المرتفعة - نفقيا - خارجة من الجانب الآخر، ومتدحرجة إلى أسفل، ومفرخة أكوانا فقاعية مفتوحة كما فى الشكل رقم ٢٢ وكبديل ، قد لا تصطدم بأية وديان، ولكنها ببساطة تتدحرج ببطء هابطة الجبل فتتيح للمنطقة كلها ذات الشكل غير المنتظم .. أن تتحول إلى كون هائل فى حجمه من نماذج أكوان فريدمان ، ونظرا لضخامته الهائلة فسيبدو أشبه بالمسطح تقريبا. يشرح نموذج ليندى للانتفاخ الفوضوى كيف يحتمل أن يحدث الانتفاخ فى ظروف بالغة العمومية. وإلى أن يصير لدينا (نظرية لكل شىء) فلسنا نعرف كيف تبدو التضاريس التى تحكم كل هذا، على أن عمل ليندى يشير إلى أن الاضطرابات الكمومية، أو الطفرات الكمومية سرعان ما تؤدى إلى أكوان وليدة تفرخ بدورها أكوانا وليدة أخرى فى (الجبال)، والأخيرة تخترق الجبال عبر الأنفاق أو تتدحرج عبر جانب الجبل إلى أسفل لتكون كونا شبيها بكوننا. تنتج هذه العملية دوحة متشعبة من الأكوان الوليدة، تتفرع منها أكوان وليدة أخرى.

١٧ - "العروة الزمنية قصيرة قصرا غير مألوف": إذا كان الفراغ الطبيعى مستقرا فى مواجهة تكون الأوتار الكونية الذاتى (وهذا هو الواقع ، وإلا لتكونت الأوتار الكونية فى داخل حجرات النوم)، فعندئذ سيكون حلنا لحالة الفراغ الكمى المترابط ذاتيا مستقرا بالمثل. ويستنتج هذا من تطويع محاولة برهنه قام بها ميكائيل كاسيدى - أحد طلبة هوكنج. أشار هوكنج إلى مشكلة مع آلات الزمن التى لا تعتمد على مواد ذات كثافة طاقة سالبة. سيظهر عدم استقرار لدى ولوج آلة الزمن عند أفق كوشى. إذا أضاف المرء موجة ذات سعة صغيرة إلى الحل ، فيمكن أن تتحرك الموجة إلى الوراء فى الزمن إلى نقطة بدايتها، لتصل ولها طاقة أكبر مما كان لها فى البداية،

وسيتكرر ذلك مرارا وتكرارا وفى كل مرة تزيد طاقتها ، متسببة فى عدم استقرار الحل. والحلول المعتمدة على الثقوب الدودية ، بموادها ذات الكثافة السالبة ، تستأصل هذه الصعوبة؛ لأن جزءا ضئيلا فقط من الموجة يسقط داخل فوهة الثقب الدودى فى كل مرة ترجع فيها إلى الوراء زمنيا. ولكن إذا استعمل المرء المواد ذات كثافة الطاقة الموجبة فقط ، فيمثل عدم الاستقرار مشكلة. فى آلتنا للزمان فى بداية الكون على كل حال، فأنت تكون خارجا منها، مما يمثل وضعا مستقرا. إذا شوش المرء الحل بموجة فستدور الموجة فى اتجاه عقارب الساعة حول العروة. وعندما تعود – بسبب تمدد الفرع – فسيكون طولها الموجى قدر طولها الأصلى ٥٣٥ مرة وستكون طاقتها جزءاً من ٥٣٥ جزء من طاقتها الأصلية. وفى كل مرة تدور فيها حول العروة تعود بطاقة أقل بنفس المعدل. ولذا فحتى على الرغم من أن الموجة يمكن أن تدور عددا لا نهائيا من المرات حول العروة، فإنها فقط تسبب تعاظما محدوداً فى الطاقة ، لا يحدث اضطرابا ذا شأن فى الشكل الهندسى. وهكذا فإن مغادرة آلة الزمان أسهل من ولوجها. فى نموذجنا يتمدد الكون تمددا لا نهائيا، وبالتالى يمتد أفق كوشى هو الآخر إلى ما لا نهاية فى المستقبل دونما مفردات فوقه. لقد أفتلنا من مبرهنة تبلر ، فرغم أن لنموذجنا بعض المنحنيات الجيوديسية التى لا تمتد – بطول لا نهائى – فى الماضى فإن هذا يحدث فى نطاق من الفراغ بدون أية جسيمات حقيقية. ومن الطبيعى أن نتوقع أن تبدأ مثل هذه المنحنيات عند مفردة – كما تفترض مبرهنة تبلر – أو عند حد مثل (خصر) فضاء دى سيتر فى الحل المحتوى على السلوك النفقى. ولكن فى حالتنا، تدور مثل هذه المنحنيات – ببساطة – حول العروة الزمنية عددا لا نهائيا من المرات. ومن الممكن أن تسبب الجسيمات التى تدور على طول هذه المنحنيات، أو الفوتونات العائدة إلى الماضى على طولها، تعاظما لا نهائيا فى كثافة الطاقة فى مثل هذه المنطقة. وفى نموذجنا – على كل حال – يحدث هذا فى منطقة فراغ حيث لا توجد جسيمات حقيقية، وحيث لا توجد فوتونات منبعثة صوب الماضى. لذا لن يمثل هذا مشكلة ما. وبدلا من أن يكون لدينا زمكان يبدأ بمفردة أو بشرط حدى، يرسى نموذجنا – بالعروة الزمنية – شرطا حديا تكراريا (يتكرر دوريا) فى البداية. (لو ثبت

وجود فعلى لنموذج الانتفاخ الفوضوى بما فيه من كل المنحنيات الجيوديسية ممتدة كلها بطول لا نهائى فى الماضى، فإن اضطراباته الكمومية ستنتهك بعض افتراضات مبرهنة تبلر ، عندئذ بوسعنا صنع نموذج كنموذجنا له مثل هذه الخاصية هو الآخر، ببساطة يجعل أحد هذه الأكوان الوليدة يلتف حول نفسه ويصبح هو الجذع. وعلى ذلك، فامتلاك آلة زمان يبدو أسهل ما يكون فى بداية الكون ، عندما تسود اعتبارات الاستقرار ويكون تجنب المفردات سهلا. رأينا – لى تشين لى وأنا – فى ذلك منتهى التشويق فهناك تماما كنا نحتاج إلى آلة زمن ليتمكن الكون من أن يكون أم نفسه.

١٨ – "قبل عمل كيب ثورن": فى عام ١٩٨٦ كتب بارو "إن بعض الشروط الحدية الكونية قد تكون ضرورية سواء عند المفردة الابتدائية أو فى اللانهائية الماضية أو كبديل: كل الخطوط الجيوديسية زمانية السمة أو الصفرية (ضوئية السمة) هى خطوط مغلقة ، ربما بدورة أكبر بكثير جدا من ١٠ ١٠ سنة". وكما ناقش كيب ثورن فى كتابه الثقوب السوداء والدفع بالانفتال، أثبت روبرت جيروش فى عام ١٩٦٧ مبرهنة جاء فيها أنه بوسعنا بناء ثقب دودى بلى الزمكان الخالى من المفردات ليا رفيقا ولكن فقط بعد أن نكون قد أنشأنا آلة للزمان. يكتب ثورن: "لقد كان رد الفعل العالمى لمبرهنة جيروش هو: بالتأكيد تمنع قوانين الفيزيائيات وجود آلات للزمان ، ومن ثم فإنها – كلاسيكيا – ستمنعنا من إحداث أى ثقب دودى على وجه الإطلاق ، بمعنى آخر بدون تمزيق الفضاء بالثقوب". بعد عمل ثورن عام ١٩٨٨ صار الناس أكثر تقبلا للأخذ بالحلول المتضمنة سفرا عبر الزمن.

١٩ – "مقايضة الماضى بالمستقبل": يعرف هذا بثابتة CPT - Charge Parity Time.

٢٠ – نجده أكثر تشوشا وفوضى كلما تقدم الزمن": كان يمكننا أن نوضح أنك إذا قلبت شكل ٢٧ رأسا على عقب حتى تقدم مجموعة من الأبواق المنهارة بعروة زمنية عند نهاية الكون، فإن حلا مترابطا ذاتيا سيتطلب موجات مقدمة فقط. وسيشاهد الراصدون فى مثل هذا الكون عروة زمنية فى المستقبل وكل موجات الضوء متجهة

صوب الماضى. وسيرصدون نتيجة لذلك عللا تحدث بعد معلولاتها (نتائجها). وكذلك سيعكس أيضا سهم الزمن الخاص بالإنتروبيا اتجاهه نتيجة انخفاض إنتروبيا العروة الزمنية فى النهاية. وبطبيعة الحال سيعيد الناس تسمية المستقبل ليصبح الماضى، والماضى ليصبح "المستقبل". وسيعتقدون أنهم عاشوا بعد العروة الزمنية المغلقة ، تماما كما نفعل. فى الحقيقة ، يعنى الاتجاه نحو المستقبل ببساطة بعيدا عن العروة الزمنية أن العلل دائما ما تكون أقرب إلى العروة الزمنية من المعلولات. وإلا فإن النموذج لا يكون مترابطا ذاتيا كما ينبغى لحل جدير بالقبول.

الباب الخامس : تقرير من المستقبل

١ - "بين جزء من ٣٩ جزءا، ٣٩ ضعفا من مدة بقائه الماضى": هذه الحدود الرحبة نوعا اختيرت بحيث تحصر ٩٥٪ من الحالات. تؤدى هذه الصيغة إلى تنبؤ صحيح طالما وقعت مدة البقاء المستقبلى فى موضع ما بين هذين الحدين. وستقع - فى الغالب - داخل نطاق أضيق داخل هذين الحدين. استعد من موضوع حائط برلين أن نصف الزمن الذى نتوقع فيه بقاء مستقبليا يقع ما بين الثلث ، وثلاثة أضعاف الماضى المنقضى من عمر الشيء. وهكذا فى معظم الحالات تحل النهاية بفترة طويلة قبل الوصول إلى الحد الأعلى المتمثل فى درجة ثقة ٩٥٪.

٢ - "الإنسان المعاصر Homo sapiens": فى عام ١٩٨٧ قدر ر.ل.كان، م.ستونكنج ، أ.س.ويلسون عمر سلالتنا البشرية من نسل الإنسان المعاصر ، بزهاء ٢٠٠٠٠٠ سنة وذلك استنادا إلى دراسات الدنا DNA. إن هذا هو عمر سلالتنا الذى أخذته فى الاعتبار. ويتفق هذا اتفاقا تقريبيا مع تقديرات أخرى منها ٢٥٠٠٠٠ عام كما قدره جولد (عام ١٩٨٩) ، وأكثر من ١٠٠٠٠٠ عام كما قدره ر.كارول فى كتابه بانتولوجيا الكائنات الفقارية والتطور (Vertebrate Paleontology & Evolution نيويورك: فريمان ١٩٨٨ ، الصفحات ٤٧٥ - ٤٧٦) ، وأكثر من ١٥٠٠٠٠ سنة كما قدره س.ب.سترينجر فى Scientific American ٢٦٣ (١٩٩٠) : ٩٨.

٣ - السلالات الثديية": يصل متوسط استمرار بقاء النوعيات الثديية إلى ٢ مليون سنة وتوزيع هذه السنوات توزيع أسى (يرجى الرجوع إلى س.م.ستانلى - محاضر الأكاديمية الوطنية للعلوم رقم ٧٢ (١٩٧٥): ٦٤٦ باستخدام هذه البيانات الاكتوارية وتطبيقها على الكائنات الثديية يمكننا أن نضع حد الـ ٩٥٪ درجة ثقة لمدة

البقاء المستقبلى لأى نوع من الثدييات نختاره عشوائيا من بين الأنواع على قيد الحياة حاليا: أكثر من ٥٠٠٠٠ سنة ولكن أقل من ٧,٤ مليون عام. إن هذين الحدين يشبهان بدرجة ملحوظة حدى ٩٥٪ درجة الثقة لمدة البقاء المستقبلى للسلالة البشرية (أكثر من ٥١٠٠ سنة وأقل من ٧,٨٪ مليون سنة والذى تحدد فقط على أساس مدة بقائنا الماضى كجنس ذكى.

٤ - "تمثل أية لحظة عشوائية فى مسيرته": إن قاعدة الـ ٣٩مرة كانت - بالمثل - ستحفظك بعيدا عن الباخرة بريتانيك (شقيقة تايتانيك) التى غرقت خلال رحلتها السادسة بعد أن انفجر فيها لغم ألمانى، بيد أنها كانت ستتيح لك عددا كبيرا من الرحلات على شقيقة تايتانيك الأخرى (أوليمبيك) والتى عبرت المحيط الأطلنطى ٥١٤ مرة بسلام قبل أن تحال إلى الاستيداع.

كان فيوليت جوسيب الموظف على متن هوايت ستار لاين، أحد من تجاهلوا قاعدة الـ ٣٩ مرة ، وقد كان على متن كل من تيتانيك وبريتانيك لدى غرقهما ، ونجا فى كلا المرتين من الموت. ينبغى لرواد الفضاء أن يتجاوزوا بشكل روتينى قاعدة الـ ٣٩.

لست أدعى أن الخطورة فى أول ٣٩ رحلة ، لأى مركبة أمر حتمى، إذا ابتعت سيارة جديدة فلعل أول ٣٩ رحلة بها أن تمر بسلام دونما حوادث، ففى حالة سيارتك الجديدة ستكون أنت موجودا فى جميع رحلاتها، من أولها إلى آخرها. وعلى كل حال إذا وصلت إلى رصيف ميناء لتستقل باخرة، فإنك - افتراضا - تختار عشوائيا إحدى رحلاتها. وبطبيعة الحال قد تخرج باخرة من الخدمة دون أى كارثة وقبل أن تتم ٣٩ رحلة (كما كان الحال مع أبوللو ١١). وتساعدنا هذه القاعدة فقط فى أن نبتعد عن الرحلة الأخيرة للسفينة. حقا .. إن الشخص المتحفظ المحتاط ربما أراد أن يتجنب مثل هذه الرحلة فأحد وسائل كونها الرحلة الأخيرة هو الانتهاء بكارثة. والسفن التى تصادف حظا عاثرا وخطورة من المرجح ألا يكون لها سجل طويل من الرحلات الناجحة ، ومن ثم فإن هذه القاعدة تساعدك على البقاء بعيدا عن مثل هذه السفن. والسجل التاريخى الطويل الحافل بالرحلات الآمنة مؤشر جيد للأمان ، والطائرات

التجارية – على وجه العموم آمنة، وكنمط عام تكمل عدة آلاف من رحلات الطيران دونما حوادث إلى أن تخرج من الخدمة. فإذا وصلت إلى مطار ما فى لحظة عشوائية من الزمان، فمن المرجح تبعا لذلك ألا تصادف طائرة تقوم برحلتها الأخيرة أو طائرة تقوم برحلة مبكرة عن رحلتها التاسعة والثلاثين. ولذلك فإن قاعدة الـ ٣٩ لا تتداخل فى الغالب الأعم مع خطط رحلاتك الجوية. كنت ذات مرة فى الصين حين طلب منى أن أستقل طائرة وصفوها بأنها طائرة روسية عتيقة ولكنها ذات اعتمادية عالية فقد كانت تقوم برحلاتها منذ ١٨ عاما ، فاستقللتها ، مفترضا أنه برغم مظهرها المتهالك – فلن تكون رحلتى عليها هى رحلتها الأخيرة. وفيما يختص بالطيران فقد فكرت مليا فى أن مبدأ كوبرنيكوس هو الشيء الوحيد الذى يدعمه.

٥ – فرصة وجودنا فى وسط الـ ٩٥٪ الوسطى من التسلسل": هل بوسعك أن تتحاشى الاستنتاج أن الاحتمال الأرجح هو أنك لست ضمن أول ٢,٥٪ ولا ضمن آخر ٢,٥٪ من السجل التاريخى لتسلسل البشر بأن تفترض أنك تحتل موضعا خاصا فى هذا السجل اعتمادا على أنك ولدت خلال حقبة حيث بلغ مستوى التعقد والتشابك جدا جعلك ملما بصيغة كوبرنيكوس؟ إذا كان عمرك فوق ١٢ عاما ، فإن ١,٨ بليون شخص قد ولدوا بعدك ، دافعين بك خارج الأناس الواقعين ضمن آخر ٢,٥٪ من هذه القائمة. فإذا كنت من المتفائلين الذين يؤمنون بأن الحضارة تمضى فقط إلى أعلى من الآن فصاعدا فإن كل آدمى المستقبل ينبغى أن يحيوا فى تلك الحقب ذات التعقد الحضارى الكافى لمعرفة الصيغة ، أو إعادة استنتاجها فى هذه الحالة ، وبصفتك شخصا تعيش فى مرحلة معقدة بدرجة كافية لكى تعرف الصيغة ، فإن احتمال كونك ضمن أول ٢,٥٪ من سجل كل البشر هو أقل من ٢,٥٪ ؛ لأن مثل هؤلاء الراصدين سيحتلون كل قائمة تسلسل البشر الزمنى فيما عدا جزءًا ضئيلا فى البداية. وبالنسبة لك ، لكى تقرأ صيغة كصيغتى ، فكل ما هو مطلوب أن تحيا فى حقبة تكون هذه الصيغة معروفة خلالها. وفى النهاية ، فأنت تعيش فى حقبة معروف فيها صيغة كوبرنيكوس ، ولكنك لم تكن متواجدا عندما اكتشفت ، وقد يكون نفس

الأمر مع صيغتى بالمثل. إذا تقوضت الحضارة، وعدنا إلى مجتمع الصيادين وجامعى الثمار .. مجتمع لا يكفى تعقيد حضارته ليعرف مثل هذه الصيغ ، فالاحتمال الأرجح أن يكون تعداده قليلا (فى حدود المليون) ، ويحتمل أن تمتد فترة بقائنا المستقبلى لفترة مماثلة لفترة بقاء مجتمعات أشباه البشر (أى فى حدود ٢ مليون سنة أو أقل) مما يجعل عدد البشر فى المستقبل وعلى الارجح فى حدود ١٠٠ بليون، ونعود فنقول هوحد أقل من ٢,٧ تريليون. ويحتاج الوجود ضمن أول ٢,٥٪ من كل سجل البشر إلى حسن حظ على مستوى ٢,٥٪ فى جميع هذه السيناريوهات.

٦ - "من المعقول أن تتفق كلا المعالجتين: لو أن لدينا حقا بيانات اكتوارية سابقة عن التطور الزمنى للتعدادات الإجمالية للأنواع الذكية من الكائنات خارج نطاق أرضنا عبر الكون كله ، لأمكننا أن نوازن هذه التعدادات (إن فرصة كونك عضوا من فصيلة خاصة تتناسب مع التعداد) لتحصل على التوزيع المتوقع للعدد الكلى المحتمل لأعضاء فصيلتك أنت الذكية (الإنسان المعاصر) هذا التوزيع النسبى ربما كان له بعض المقاييس ما إذا كان ١٠٠ بليون أو ١ تريليون ، وطالما أنه ليس لدينا مثل هذه البيانات الاكتوارية عن الأنواع الذكية خارج الأرض ، فليس لدينا فكرة عن هذا المعيار كيف يكون. وعلى ذلك وباتباع جيفريز فيجب أن نعالج كل تقدير بترتيب الأفضليات للعدد الكلى للبشر عبر الزمن بنفس الوزن.

وبعبارة أخرى إن عدد البشر عبر الزمن يعتبر أولوية مساوية فى احتمالها أن تقع فى أى من الحقب الزمنية التالية: ١٠٠ بليون إلى ١ تريليون ، و١ تريليون إلى ١٠ تريليون ، و١٠ تريليون إلى ١٠٠ تريليون وهكذا دواليك. ويعاد النظر فى هذه التقديرات طبقا لنظرية بايز بمعرفتك أنك تحتل تقريبا رقم ٧٠ بليون من البشر الذين ولدوا. وكما وضحت تؤدى هذه المعالجة إلى نتائج "كوبرنيكية" ، بمعنى أن هناك فرصة مقادرها ٩٥٪ أن عدد البشر المستقبليين يقع بين ١,٨ بليون ، ٢,٧ تريليون. إن أسبقية جيدة غير محددة ، كأسبقية جيفريز تلك ينبغى أن يصلح استخدامها بواسطة أى راصد ذكى. إذا استعملوها جميعهم فيمكنك أن تفرزها لتعرف إلى أى مدى

أفلحت ، إذ ينبغى أن تتفق نتائجها مع الإجابة الكوبرنيكية لأن ٩٥٪ من هؤلاء الراصدين الأذكياء يجب أن يقعوا فى الـ ٩٥٪ الوسطى من قائمة التسلسل الزمنى لأفراد نوعيتهم الذكية.

٧ - "بلد يربو تعداده على تعداد البلد الأوسط": بنفس أسلوب الاستدلال فالاحتمال الأرجح أن فصيلتك الذكية ستمتد فترة بقائها المستقبلى عن الفصيلة الذكية التى تتوسط القائمة؛ لأن معظم الراصدين الأذكياء من المرجح أن يأتوا من هذه الفصيلة ذات العمر الأطول ، وعلى الأرجح ستكون من ضمنهم. وهكذا فمن المرجح أن نكون أكثر نجاحا من النوعية الذكية المتوسطة فى الجدول سواء على مقياس مدة البقاء أو التعداد. وما زلت يجب أن تتوقع ٩٥٪ فرصة أنك من ضمن الـ ٩٥٪ الوسطى من تاريخ البشر. وهو ما يمنحنا مدة بقاء مستقبلية متوقعة ما بين ٢٠٥٠٠٠ ، ٨ مليون سنة. وذلك تماما ما يعنى أن الفصيلة الذكية فى منتصف الجدول يحتمل أن يكون لها مدة بقاء أقل مما لنا.

المؤلف فى سطور:

ج. ريتشارد جوت J. Richard Gott

هو أستاذ علوم الفيزياء الفلكية بجامعة برينستون . Princeton وقد رأس لفترة أربعة عشر عاما مجلس المحكمين فى مكتب البحث عن المواهب العلمية القومى للولايات المتحدة.

Westinghouse and Intel Science Talent Search

وهو المركز الرائد فى مجال التنافس العلمى بين طلبة المدارس العليا. وبصفته حائزا على جائزة الرئيس للتعليم المتميزة فى برينستون ، فقد كتب جوت عن موضوع السفر عبر الزمن لمجلة التايم وعن موضوعات أخرى لمجلات

Scientific American, New Scientist & American scientist

ويعيش البروفسور "جوت" فى برينستون – نيوجرسى.

المترجم فى سطور:

دكتور مهندس / عاطف يوسف محمود

حاصل على درجة البكالوريوس فى الهندسة الميكانيكية - جامعة القاهرة فى ١٩٦٦.

حاصل على درجتى الماجستير (١٩٧٢) والدكتوراه (١٩٧٦) فى صناعة الحديد والصلب.

له بحوث علمية عديدة باللغات العربية والإنجليزية والروسية نشرت فى مجلات عربية وأجنبية.

حائز على لقب مهندس استشارى من نقابة المهندسين المصرية فى مجال دراسات الجدوى وتقييم المشاريع الصناعية.

يقوم بالترجمة ونشر المقالات العلمية لمجلة العربى الكويتية.

المراجع فى سطور:

عزت عامر

حاصل على بكالوريوس هندسة طيران جامعة القاهرة ١٩٦٩.

مدير مكتب مجلة "العربى" الكويتية فى القاهرة.

محرر علمي ومترجم عن الإنجليزية والفرنسية ، ينشر فى العديد من المجلات والصحف العربية.

عمل محرراً لصفحة العلم والتكنولوجيا فى صحيفة "العالم اليوم" المصرية ، ومسئولاً عن صفحة يومية وصفحة طبية أسبوعية فى صحيفة "الاقتصادية" السعودية.

طبع له فى المجلس الأعلى للثقافة فى مصر ترجمات عن الإنجليزية لكتب: "حكايات من السهول الإفريقية" لآن جاتى ، و"بلايين وبلايين" لكارل ساجان ، و"يا له من سباق محموم" لفرانسيس كريك ، الذى أعيد نشره فى مهرجان القراءة للجميع ٢٠٠٤ ، و"الانفجار العظيم" لجيمس ليدسى ، و"سجون الضوء .. الثقوب السوداء" لكيتى فرجاسون ، و"غبار النجوم" لجون جريبين ، و"الشفرة الوراثية وكتاب التحولات" لجونسون يان.

شارك فى ترجمة ومراجعة مجلدى جامعة كل المعارف "الكون" و"الحياة" عن الفرنسية ، طبع ونشر المجلس الأعلى للثقافة فى مصر.

له تحت الطبع: "قصص الحيوانات" لدينيس بيبير مترجم عن الإنجليزية ، و"ما بعد الواقع الافتراضى" لفيليب ريجو عن الفرنسية ، و"أينشتاين ضد الصدفة" لفرانسوا دو كلوسيت عن الفرنسية. ويترجم حالياً "الفولكلور الإفريقى" عن الإنجليزية لروجر أبراهامز.

نشر له ستة كتيبات للأطفال تحت عنوان "العلم فى حياتنا" عن طريق المركز القومى لثقافة الطفل فى مصر ، وينشر قصص مصورة ومواد علمية للأطفال فى مجلة "العربى الصغير" الكويتية ، وملحقها العلمى.

التصحيح اللغوى : **غادة كمال**

الإشراف الفنى : **حسن كامل**

السفر عبر الزمان إلى المستقبل ليس فقط فى حيز الإمكان ولكنه قد وقع بالفعل، فطبقا لكتاب ج. ريتشارد جوت، صغر ملاحو الفضاء قليلا فى العمر عن أولئك الذين بقيت أقدامهم راسية على الأرض. ولكن ... هل يمكن يا ترى السفر إلى الماضى فى ظل ظروف فيزيائية مواتية؟ يرشد ج. ريتشارد جوت قارئه عبر جولة شائقة، إلى الأساليب والوسائل الممكنة للسفر عبر الزمن، وهو كذلك يتنبأ بحقبة البقاء المستقبلى لجنس البشر، تأسيساً على تقنية علمية حديثة. ويقوم جوت بوثبة مسلية وباعثة على التأمل فى آن، فيجوس خلال الخيال العلمى والعلم الصرف الحقيقى دون أن يخلط – بلا مبرر– بين الاثنين.

سير مارتن ريس – صنداى تايمز

تصميم الغلاف: سارة صالح